

# **PILAANTUNEIDEN MAIDEN KUNNOSTUS**

Case: Kuuskajaskarin ampumaradat ja kaatopaikka

Minna Kouva

Opinnäytetyö  
Syyskuu 2014  
Rakennustekniikka  
Infrarakentaminen

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikka  
Infrarakentaminen

MINNA KOUVA:

Pilaantuneiden maiden kunnostus

Case: Kuuskajaskarin ampumaradat ja kaatopaikka

Opinnäytetyö 69 sivua, joista liitteitä 8 sivua

Syyskuu 2014

---

Tässä opinnäytetyössä selvitettiin raskasmetalleilla pilaantuneen maan kunnostamista. Tavoitteena oli tutkia erityisesti raskasmetalleilla pilaantuneille maille sopivia kunnostusmenetelmiä. Opinnäytetyö on tehty kirjallisuustutkimuksena tutustumalla aiheetta koskeviin tutkimuksiin ja julkaisuihin. Opinnäytetyön teoriaosuudessa käsitellään yleisesti pilaantunutta maaperää, siihen liittyvää lainsäädäntöä ja lupakäytäntöjä, pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointimenettelyä sekä kunnostusmenetelmiä.

Tutkimuskohteena oli Rauman kaupungin edustalla sijaitseva Kuuskajaskarin linnakaupunki, jossa on Puolustusvoimien ampumatoiminnan seurauksena pilaantuneita maita. Työssä keskityttiin saarella olevien ampumaratojen taustavallien ja kaatopaikan maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen selvittämiseen ja näille sopivan kunnostusmenetelmän valintaan. Kyseisten alueiden puhdistustarvetta on pohdittu myös kaavoituksen näkökulmasta, koska saarelle on laadittu uusi asemakaavaluonnos. Työssä selvitettiin alueen toimintahistoriaa ja tehtyjä haitta-ainetutkimuksia, minkä perusteella arvioitiin tutkittavien alueiden kunnostustarvetta. Työssä havaittiin, että aikaisempia kenttätutkimuksia tulisi täydentää lisätutkimuksilla, jotta alueiden pilaantuneisuutta ja pilaantuneen maan määrää saataisiin tarkennettua.

Opinnäytetyön case -osion selvitysten perusteella voidaan sanoa, että Kuuskajaskarin pilaantuneet maat voidaan jättää kunnostamatta, mikäli ne eivät aiheuta haittaa tai merkittävää riskiä ympäristölle tai alueen jatkokäytölle. Tämä edellyttää pilaantuneiden alueiden tarkennettua riskinarviota. Toinen vaihtoehto on kunnostaa pilaantuneet maat. Pilaantuneiden maiden kunnostustavoitteena tulisi tällöin olla haitta-aineiden poistaminen maaperästä niin, että haitta-aineiden jäännöspitoisuudet ovat hyväksyttävällä tasolla.

Sopivimmaksi kunnostusmenetelmäksi valikoitui pilaantuneiden maiden kaivu ja kuljetus käsittelylaitokseen, mikä on yleisin menettely pilaantuneiden maiden käsittelyssä. Maan kaivu on varmin tapa poistaa haitta-aineet maaperästä. Tällöin ei jää riskiä, että maaperään jääneet haitta-aineet joskus aiheuttaisivat haittaa. Lisäksi kaatopaikan tapauksessa pilaantuneiden maiden käsittely olisi ollut hankalaa muilla menetelmillä, koska maa-aines sisältää erilaisia jätejakeita.

---

Asiasanat: pilaantunut maaperä, kunnostusmenetelmät, raskasmetallit, ampumarata

## ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences  
Construction Engineering  
Civil Engineering

MINNA KOUVA:

Remediation of Contaminated Soils

Case: Shooting Ranges and Landfill in Kuuskajaskari

Bachelor's thesis 69 pages, appendices 8 pages  
September 2014

---

The purpose of the thesis was to study remediation of heavy metal contaminated soils. The aim was to study particularly suitable remediation methods for them. The thesis is based on literature research of various studies and publications on the subject. Theory part of the thesis includes basis of contaminated soils, the legislation on the subject, assessment of soil contamination and the remediation need and handles different remediation methods.

The thesis ends with a case study of island Kuuskajaskari near city of Rauma. Kuuskajaskari has been as an army fortress of Finnish Defence Forces many decades and the area has been contaminated by shooting actions. This thesis studied assessment of soil contamination and the remediation need of the shooting banks and the landfill in the island and suitable remediation methods for them. The new city plan of Kuuskajaskari has also been taken into account while assessment of soil remediation need. The need for remediation is based on the history of the island and early field studies of harmful substances. Conclusion was that more field studies are needed for evaluating contamination of the site and amount of contaminated soil.

Based on the Kuuskajaskari case study conclusion was that contaminated soils can be left on the island if they cause no harm or notable risk for environment or future land use. This requires specific assessment of contaminated soils. Other choice was remediation. In that case the aim of the remediation should be to get the harmful substances off the soil so that leaving contents are acceptable.

In the case study the most suitable method for the remediation were excavation and transporting contaminated soil to the treatment plant, which is the most common method. Excavation is the best solution to assure there's no harmful substances left in the site that could cause risk in the future. In addition the landfill consists different particles it could be difficult to remediate it otherwise.

---

Keywords: contaminated soil, remediation methods, heavy metals, shooting range

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	PILAANTUNUT MAAPERÄ .....	8
3	LAINSÄÄDÄNTÖ JA LUPA-ASIAT .....	10
	3.1. Ympäristönsuojelulaki .....	10
	3.2. PIMA-asetus .....	11
	3.3. Jätelaki .....	11
	3.4. Kunnostukseen vaadittavat luvat ja hallintomenettely .....	13
4	MAAPERÄN PILAANTUNEISUUDEN JA PUHDISTUSTARPEEN ARVIOINTIMENETTELY .....	15
	4.1. Arviointitarpeen tunnistaminen .....	15
	4.2. Perusarviointi .....	15
	4.3. Tarkennettu arviointi ja riskinhallinta.....	16
5	METALLEILLA PILAANTUNEILLE MAILLE SOVELTUVAT KUNNOSTUSMENETELMÄT .....	19
	5.1. Haitta-aineita poistavat menetelmät.....	21
	5.1.1 Elektrokineettinen menetelmä.....	21
	5.1.2 Fytoremediaatio.....	22
	5.1.3 Imurointi.....	24
	5.1.4 Kaivu ja kuljetus .....	24
	5.1.1 Maan huuhtelu.....	26
	5.1.2 Maanpesu (Märkäerottelu) .....	27
	5.1.3 Seulonta.....	28
	5.1.1 Terminen käsittely, tehopoltto .....	29
	5.2. Haitta-aineiden leviämisen estäminen .....	29
	5.2.1 Eristäminen .....	29
	5.2.1 Stabilointi .....	31
6	CASE: KUUSKAJASKARIN METALLEILLA PILAANTUNEET MAAT .....	33
	6.1. Kohteen kuvaus.....	33
	6.2. Puolustusvoimien ampumatoiminta Kuuskajaskarissa .....	36
	6.3. Kuuskajaskarin raskasmetalleilla pilaantuneet alueet.....	38
	6.3.1 Kivääri- ja pistoolirata.....	38
	6.3.2 Kaatopaikka.....	42
	6.3.3 Ampumaratojen raskasmetallit ja niiden vaikutus ympäristöön .....	42
	6.4. Alueella suoritettut haitta-ainetutkimukset .....	44
	6.4.1 Kenttätutkimukset 2001 .....	44
	6.4.2 Tulokset.....	45

6.4.3	Haitta-aineiden kokonaismäärä.....	46
6.4.4	Lisätutkimusten tarve .....	48
6.5.	Kunnostustarve ja tavoitteet.....	49
6.6.	Kunnostusmenetelmän valinta.....	51
6.6.1	Valintaan vaikuttavat tekijät .....	51
6.6.1	Kunnostusmenetelmien soveltuvuus kohteeseen .....	52
6.6.1	Valittu kunnostusmenetelmä.....	54
7	POHDINTA.....	57
	LÄHTEET .....	59
	LIITTEET .....	61
	Liite 1. Kuuskajaskarin kaavaluonnos 20.11.2012 (Rauman kaupungin kaavoitus).....	62
	Liite 2. Valokuvia kivääriradalta. ....	63
	Liite 3. Kivääriradan taustavallin kartta, pituus- ja poikkileikkaus .....	64
	Liite 4. Valokuvia pistooliradasta ja jätteenpolttolaitoksesta.....	65
	Liite 5. Valokuvia kaatopaikalta. ....	66
	Liite 6. Maanäytteiden analyysitulokset.....	67
	Liite 7. Kaatopaikan koekuoppahavainnot .....	68
	Liite 8. Kaatopaikan ja pistooliradan tutkimuspisteet .....	69

## ERITYISSANASTO

Alempi ohjearvo (AO)	Haitallisen aineen pitoisuusarvo, jonka ylittyessä maaperää pidetään pilaantuneena. Käytetään vertailuarvona tavanomaisessa maankäytössä, esimerkiksi asuin-, puisto- ja virkistysalueella.
Haitta-aine	Aine, joka voi aiheuttaa ympäristö- tai terveyshaittaa.
Kynnysarvo	Pima-asetuksessa määritelty haitallisen aineen pitoisuusarvo, jonka ylittyessä maaperän pilaantuneisuus ja puhdistustarve on arvioitava.
Maaperän kunnostus	Kunnostuksen tavoitteena on saada pilaantunut alue osittain tai kokonaan sellaiseen kuntoon, ettei siitä enää aiheudu terveyshaittaa, eikä haittaa tai vaaraa ympäristölle.
Pilaantunut maaperä	Maaperä on pilaantunut, kun siihen on ihmisen toiminnan seurauksena joutunut haitallista ainetta, joka huonontaa maaperän laatua ja voi aiheuttaa vaaraa tai haittaa ihmisen terveydelle tai ympäristölle, tai vähentää viihtyisyyttä tai muuten loukata yksityistä tai yleistä etua.
Pima tai PIMA	Lyhenne termille pilaantunut maaperä.
Pima-asetus	Valtioneuvoston asetus 214/2007 maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista. Asetuksessa on annettu kynnys- ja ohjearvot 52:lle maaperän haitallisen aineen tai aineryhmän pitoisuudelle.
Ylempi ohjearvo (YO)	Pima-asetuksessa määritelty haitallisen aineen pitoisuusarvo, jonka ylittyessä maaperää pidetään yleensä pilaantuneena alueella, jota käytetään teollisuus-, varasto- tai liikennealueena.

## 1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan ratkaisuja raskasmetalleilla pilaantuneen maan kunnostamiseen. Tutkimuskohteena on Rauman kaupungin edustalla sijaitseva Kuuskajaskarin linnakesaari, jossa on Puolustusvoimien ampumatoiminnan seurauksena pilaantuneita maita. Tässä työssä keskitytään saarella olevien ampumaratojen ja kaatopaikan pilaantuneiden maiden kunnostamiseen. Rauman kaupunki on laatimassa saarelle uutta asemakaavaa. Tämän työn tarkoitus on selvittää myös alueiden pilaantuneisuutta ja puhdistustarvetta kaavaluonnoksessa ehdotetun maankäytön perusteella.

Tavoitteena on tutkia erityisesti raskasmetalleilla pilaantuneille maille sopivia kunnostusmenetelmiä. Tarkoituksena on vertailla kunnostusmenetelmien soveltuvuutta tutkimuskohteeseen ja valita sopivin kunnostusmenetelmä.

Opinnäytetyö on tehty kirjallisuustutkimuksena tutustumalla pilaantuneiden maiden kunnostamista koskeviin tutkimuksiin ja julkaisuihin. Jaana Hietalahti ja Minna Hovi ovat tehneet Kuuskajaskarista aikaisemmin opinnäytetyön ”Pilaantuneen maan kartoitus, analysointi ja kunnostus”, jonka näytteenottotuloksia on tässäkin opinnäytetyössä käsitelty. Työssä on käsitelty myös Kuuskajaskarista tehtyä maisemaselvitystä. Lisäksi on haastateltu saarella aikaisemmin Puolustusvoimien palveluksessa työskennelleitä henkilöitä Tauno Setälää ja Veli-Pekka Paateroa. Opinnäytetyössä pilaantuneisiin maihin liittyen on opastanut Rauman kaupungin ympäristönsuojelutarkastaja Raija Hakanen.

## 2 PILAANTUNUT MAAPERÄ

Maaperä on pilaantunut, kun siihen on ihmisen toiminnan seurauksena joutunut haitallista ainetta, joka huonontaa maaperän laatua ja voi aiheuttaa vaaraa tai haittaa ihmisen terveydelle tai ympäristölle, tai vähentää viihtyisyyttä tai muuten loukata yksityistä tai yleistä etua. (Ympäristöministeriö 2007, 14)

Maaperä voi pilaantua paikallisesti esimerkiksi onnettomuuden, vahinkojen tai pitkän ajan kuluessa tapahtuneiden ympäristöpäästöjen seurauksena. Haitallisia aineita on voinut joutua maaperään kaikesta sellaisesta toiminnasta, jossa on käsitelty haitallisia aineita. Toimintaa, joka voi aiheuttaa maaperän pilaantumista, on esimerkiksi teollisuus, polttoaineen jakelu, moottoriajoneuvojen huolto ja korjaus, jätteiden käsittely, öljyjen tai kemikaalien varastointi ja kuljetus, kaivostoiminta, sahat ja kyllästämöt, taimistot, puutarhat tai ampumaradat. (Suomen ympäristökeskus 2013)

Suomessa maaperä on yleisimmin pilaantunut öljyhiilivedyillä tai raskasmetalleilla. Öljyhiilivetyjä ovat esimerkiksi bensiinit, polttoöljyt tai voiteluöljyt. Raskasmetalleja ovat muun muassa arseeni, elohopea, kadmium, koboltti, kromi, kupari, lyijy, nikkeli ja sinkki. Muita maaperää pilaavia aineita ovat muun muassa kloorifenolit, furaanit, dioksiinit, liuottimet ja torjunta-aineet. (Suomen ympäristökeskus 2013)

Maaperän pilaantuneisuutta ei välttämättä aina havaita aistinvaraisesti, mutta joskus sen voi nähdä tai haistaa. Esimerkiksi öljytuotteilla pilaantunut maa voi olla haisevaa ja maaperässä voi olla näkyviä värimuutoksia. Maaperän pilaantuneisuus varmistetaan ottamalla maaperästä näytteitä ja tutkimalla niistä mahdolliset haitta-aineet ja niiden pitoisuus maaperässä.

Pilaantuneelta maa-alueelta haitta-aineet voivat levitä maaperässä laajemmalle alueelle tai ne voivat kulkeutua ilmaan, pohjavesiin, vesistöihin tai joskus myös vesistöjen pohjasedimentteihin. Osa haitta-aineista voi kertyä kasvien juuristoon tai maanpäällisiin osiin tai maaperässä oleviin pieneliöihin. Haitallisten vaikutusten ilmeneminen eliöissä edellyttää sitä, että joutuu kosketuksiin haitta-aineiden kanssa esimerkiksi hengitysilman, juomaveden, ravinnon tai ihon kautta tapahtuvan altistumisen kautta. Haitta-aineita voi joutua elimistöön myös maata syömällä (lähinnä lapset). Ympäristö- ja ter-



veysvaikutukset saatetaan havaita vasta vuosien jälkeen toiminnan päätyttyä. (Ympäristöministeriö 2007, 34, 39)

Valtion ympäristöhallinnon ylläpitämään maaperän tilan tietojärjestelmään eli MATTI-järjestelmään on koottu tietoja runsaasta 23 850 maa-alueesta, joilla maaperä saattaa olla pilaantunut, maaperän tiedetään pilaantuneen tai maaperä on kunnostettu. Varsinais-Suomessa ja Satakunnassa kohteita on 3269 kappaletta. Sijainniltaan ongelmallisia ovat sellaiset kohteet, jotka sijaitsevat pohjavesialueilla, vesistöjen lähellä, luonnonsuojelualueilla tai asuinalueilla. (Pyy 2013)

Pilaantuneiden maiden kunnostamista säädellään muun muassa ympäristönsuojelu- ja jätelailla ja näihin liittyvillä asetuksilla. Pilaantuneen maan kunnostus on luvanvaraista toimintaa. Pääsääntöisesti toimivaltaisista lupa- ja valvontaviranomaisista ovat elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukset sekä aluehallintovirastot.

Pilaantuneen maaperän kunnostamisesta laaditaan kunnostussuunnitelma, jonka mukaan alue puhdistetaan. Yleisin kunnostusmenetelmä on pilaantuneen maan kaivuu ja kuljettaminen joko pilaantuneen maan käsittelylaitokseen tai täytteeksi kaatopaikan rakenteisiin. On myös olemassa kunnostusmenetelmiä, joilla pilaantunut maaperä voidaan kunnostaa paikan päällä kohteessa, riippuen haitta-aineesta ja maaperästä.

### 3 LAINSÄÄDÄNTÖ JA LUPA-ASIAT

Ympäristönsuojelulaki 86/2000 kieltää maaperän ja pohjaveden pilaamisen ja on keskeisin säädös koskien maaperän pilaamista ja pilaantuneiden alueiden kunnostusta. Pilaantuneiden maiden kunnostuksessa syntyvät maamassat ovat jätteitä, joita koskee jätelainsäädäntö. Maaperän pilaantuneisuuden arvioinnissa, puhdistustarpeen selvittämisessä ja tavoitepitoisuuksia määritettäessä käytetään edellä mainittujen lakien sijaan vuonna 2007 säädettyä PIMA -asetusta.

#### 3.1. Ympäristönsuojelulaki

Ympäristönsuojelulakia sovelletaan sen voimaantulon 1.3.2000 jälkeen tapahtuneisiin maaperän pilaantumistapauksiin. Ympäristönsuojelulain (86/2000) maaperän pilaantuneisuuden kannalta keskeisimmät pykälät ovat:

- Maaperän pilaamiskielto YSL 7§
- Maaperän ja pohjaveden puhdistamisvelvollisuus YSL Luku 12
- Ilmoitusvelvollisuus YSL 76 §
- Puhdistamisen luvanvaraisuus YSL 78 §
- Selontekovelvollisuus YSL 104 §

Maaperän pilaaminen on kielletty ympäristönsuojelulaissa 7 §:ssä (29.05.2009/385), jossa todetaan seuraavasti: *”Maahan ei saa jättää tai päästää jätettä tai muuta ainetta taikka organismeja tai mikro-organismeja siten, että seurauksena on sellainen maaperän laadun huononeminen, josta voi aiheutua vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle, viihtyisyyden melkoista vähentymistä tai muu niihin verrattava yleisen tai yksityisen edun loukkaus”*.

Ympäristönsuojelulain 12 luvussa käsitellään pilaantuneen maaperän puhdistusvastuuta. Vastuu pilaantuneen maaperän ja pohjaveden puhdistamistarpeen selvittämisestä ja puhdistamisesta on ensisijaisesti pilaantumisen aiheuttajalla. Jos pilaantumisen aiheuttaja ei saada vastuuseen, voi pilaantuneen alueen kiinteistönomistaja tai -haltija tai viime kädessä kunta joutua kunnostamaan pilaantuneen alueen. Viranomainen voi myös määrätä puhdistamisesta vastuussa olevan puhdistamaan maaperän, jos sitä ei tehdä vapaaehtoisesti. (Ympäristöministeriö 2007, 121)

Pilaantuneiden maa-ainesten käsittely on YSL 78§ mukaan luvanvaraista toimintaa ja sille on oltava ympäristölupa. Jos pilaantuneen alueen laajuus ja pilaantuneisuus on riittävästi selvitetty, puhdistamisessa noudatetaan yleisesti käytössä olevaa hyväksyttävää puhdistusmenetelmää, eikä toiminnasta aiheudu ympäristön muuta pilaantumista, voi pilaantunutta aluetta alkaa puhdistamaan tekemällä ilmoituksen alueelliselle elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukselle. (Ympäristöministeriö 2007, 121)

### **3.2. PIMA-asetus**

Valtioneuvoston asetusta 214/2007 maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista on noudatettu 1.6.2007 alkaen. Asetusta sovelletaan maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointiin, sekä maaperän haitallisten aineiden aiheuttamien ympäristö- ja terveysriskien arviointiin. Asetuksen mukainen arviointi ei koske kaivettuja maa-aineksia, joiden käsittelyä koskevat mm. jätelainsäädännön velvoitteet. (Ympäristöministeriö 2007, 14 - 15)

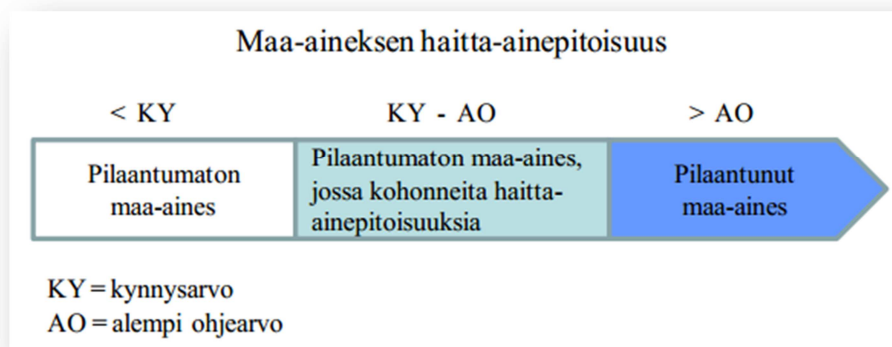
Pima-asetuksessa on annettu kynnys- ja ohjearvot 52:lle maaperän haitallisen aineen tai aineryhmän pitoisuudelle. Ohjearvovertailussa maaperästä mitattuja pitoisuuksia verrataan maankäytön perusteella valittuihin ohjearvoihin. Kynnysarvoa voidaan pitää maaperänsuojelun ja pilaantumisen ennaltaehkäisyn vertailuarvona. Jos kynnysarvo ylittyy, maaperän pilaantuneisuus ja puhdistustarve on arvioitava. Mikäli alempi ohjearvo ylittyy yhdenkin aineen osalta, maaperää pidetään pilaantuneena ja puhdistamista tarpeellisenä. Herkkyydeltään tavanomaisessa maankäytössä, esimerkiksi asuin-, puisto- ja virkistysalueella vertailuarvona käytetään alempaa ohjearvoa. Teollisuus-, varasto- tai liikennealueella sovelletaan yleensä ylempää ohjearvoa. Ohjearvot on määritelty joko ekologisen riskien tai terveysriskien perusteella. (Ympäristöministeriö 2007, 15, 42)

### **3.3. Jätelaki**

Vuonna 2011 tuli voimaan uudistettu jätelaki (646/2011), jossa on selvennetty myös pilaantuneiden maiden jäteluokittelua ja niiden käsittelyä. Pilaantuneiden maiden kunnostuksessa kaivettavat pilaantuneet maat ovat jätteitä, joihin sovelletaan jätteen yleistä

määritelmää (5 §, 1.mom), jonka mukaan jätteellä tarkoitetaan ainetta tai esinettä, jonka haltija on poistanut tai aikoo poistaa käytöstä taikka on velvollinen poistamaan käytöstä. Pilaantumaton maa-aines, joka hyödynnetään varmasti ja suunnitelmallisesti ilman muuntamistoimia, ei pääsääntöisesti ole jätettä eikä hyödyntämiseen tällöin liity ympäristönsuojelulain mukaisia hyväksymismenettelyjä. Jätelakia (646/2011) ei sovelleta myöskään kallio- tai maaperästä irrottamattomaan pilaantuneeseen maa-ainekseen. (Ympäristöministeriö 2012)

Kaivettujen maa-aineksien pilaantuneisuus luokitellaan kynnys- ja ohjearvojen perusteella. Maa-ainekset ovat pilaantumattomia, jos ne haitta-ainepitoisuuksiltaan alittavat kynnysarvon. Haitta-ainepitoisuuksiltaan kynnysarvon ylittävät ja alemman ohjearvon alittavat maa-ainekset ovat pilaantumattomia, joissa on kohonneita haitta-ainepitoisuuksia. Alemman ohjearvon ylittävät maa-ainekset ovat pilaantuneita.



Kuva 1. Kaivetun maa-aineksen pilaantuneisuusluokittelu. (Ympäristöministeriö 2012)

Jätteeksi luokiteltua kaivettua pilaantunutta maa-ainesta koskee jäteasetuksen (179/2012) mukainen jäteluokittelu. Nimikeryhmä 17 05 03\* käsittää maa- ja kiviainekset, jotka sisältävät vaarallisia aineita ja ryhmä 17 05 04 muut kuin 17 05 03 mainitut maa- ja kiviainekset. Kaivettujen ja jo käsiteltyjen maa-ainesjätteiden pääluokka on 19. Uuden jätelain myötä on siirrytty käyttämään ongelmajätteen sijaan käsitettä ”vaarallinen jäte”. Kaivetun maa-aineksen jätteen vaarallisuus arvioidaan käytännössä sen sisältämien vaarallisten aineiden pitoisuuksien ja niistä aiheutuvien vaaraominaisuuksien perusteella. (Ympäristöministeriö 2012, 4)

Jätelaissa on kerrottu maa-ainesjätteiden käsittelyä ja hyödyntämistä koskevia yleisiä velvoitteita ja periaatteita. Maa-ainesjätteitä koskevat jätelain yleiset velvoitteet, kuten (Ympäristöministeriö 2012, 8):

- 12 § selvillä olo- ja tiedonantovelvollisuus
- 13 § jätteestä ja jätehuollosta aiheutuvan vaaran ja haitan ehkäiseminen
- 15 § jätteiden erillään pito velvollisuus
- 17 § vaarallisen jätteen sekoittamiskielto
- 121 § pilaantuneesta maa-aineksesta on laadittava siirtoasiakirja
- 118 ja 119 § kirjanpito jätteistä

Hyödynnettävän maa-aineksen tulee olla käyttötarkoitukseensa teknisesti soveltuvaa eikä sen hyödyntämisestä saa aiheutua haittaa tai vaaraa hyödyntämiskohteessa. Hyödynnettävän maa-aineksen käyttökelpoisuus on arvioitava riittävillä ja edustavilla näytteenotoilla. Mietittäessä maa-aineksen sijoituskohdetta, tulee olla riittävästi tietoa esimerkiksi haitta-aineiden liukoisuusominaisuuksista sekä käyttäytymisestä sijoitusolosuhteissa. Hyödynnettäessä maa-ainesjätteitä kaatopaikkarakenteissa tulee niiden olla kaatopaikkakelpoisia asianomaiselle kaatopaikalle. Maa-ainesten kaatopaikkakelpoisuus osoitetaan pilaantuneisuustutkimuksissa saatujen haitta-ainepitoisuuksien perusteella. Haitta-ainepitoisuudeltaan alemman ohjearvon alittavia maa-aineksia voidaan käyttää tavanomaisen sekajätteen tai tavanomaisen pilaantuneen maa-aineksen kaatopaikkojen esipeitto- tai päiväpeittokerroksissa. Maankaatopaikalle voidaan sijoittaa vain pilaantumaton maa-ainesta tai mitä sen ympäristöluvassa on esitetty. Jätelain etusijajärjestyksen mukaan pilaantuneiden maa-ainesjätteiden kaatopaikkakäsittely on viimeinen käsitelövaihtoehto. (Ympäristöministeriö 2012, 9 - 12):

### **3.4. Kunnostukseen vaadittavat luvat ja hallintomenettely**

Ympäristönsuojelulain (86/2000) 78 §:n mukaan pilaantuneiden maa-ainesten käsittely vaatii joko alueellisen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen myöntämän ympäristöluvan tai päätöksen tehdystä ilmoituksesta. Yleensä maaperän puhdistamiseen riittää ilmoituksen tekeminen. Ilmoitusmenettelyn edellytykset ovat, että pilaantuneen alueen laajuus ja maaperän pilaantumisen aste on riittävästi selvitetty, puhdistamisessa noudatetaan yleisesti käytössä olevaa hyväksyttävää puhdistusmenetelmää ja toiminnasta ei aiheudu ympäristön muuta pilaantumista. (Ympäristöministeriö 2007, s.19)

Mikäli edellä mainitut edellytykset eivät täyty, on haettava ympäristölupaa. Ympäristölupaa haetaan esimerkiksi silloin, jos poiketaan puhdistustavoitteista ja maaperään jätetään huomattava määrä haitallisia aineita. Pääsääntöisesti toimivaltaisista lupa- ja valvontaviranomaisista ovat elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukset (ELY) sekä aluehallintovirastot (AVI). (Ympäristöministeriö 2007, s.19)

Ympäristölupahakemuksessa tai puhdistamista koskevassa ilmoituksessa ja kunnostuksen yleissuunnitelmassa (Kuva X) kuvataan selkeästi ja yhdenmukaisesti kunnostuksen tavoitteet ja toimenpiteet tavoitteiden saavuttamiseksi. Ympäristölupahakemus tai ilmoitus pilaantuneen alueen maaperän kunnostamisesta liiteasiakirjoina toimitetaan kolmena kappaleena toimivaltaiselle viranomaiselle. Ympäristönsuojeluasetuksen mukaan ilmoitus tulee tehdä viimeistään 30 päivää ennen puhdistamisen kannalta olennaisen vaiheen aloittamista. Hakemuksen voi tehdä täyttämällä ympäristöhallinnon ympäristölupahakemuslomakkeen 6010, kun haetaan ympäristölupaa ja ilmoituslomakkeen 6902 tehtäessä ilmoitusta. Toimivaltainen viranomainen tarkastaa lupahakemuksen tai ilmoituksen ja tekee sen johdosta päätöksen. (Suomen ympäristökeskus 2010, 21)

Kunnostustyön valmistuttua kootaan loppuraportti, jossa on kuvattu työn toteutus, maaperän tila töiden päätyttyä sekä työn yhteydessä syntyneiden jätteiden käsittely. Tavoitteena on varmistaa työlle asetettujen tavoitteiden saavuttaminen, sekä tiedon välittyminen ja säilyminen. Loppuraportti toimitetaan alueen puhdistamista koskevan päätöksen tehneelle viranomaiselle. Viranomaiselle toimitettava ympäristölupahakemus tai puhdistamisesta tehtävä ilmoitus sekä loppuraportti liitteineen ovat pysyvästi säilytettäviä asiakirjoja. (Suomen ympäristökeskus 2010, 22)

## **4 MAAPERÄN PILAANTUNEISUUDEN JA PUHDISTUSTARPEEN ARVIOINTIMENETTELY**

Ympäristöministeriö on julkaissut vuonna 2007 ohjeen ”Maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointi”, jossa on käyty läpi PIMA -asetuksen mukaista maaperän pilaantuneisuuden arviointimenettelyä. Ohjetta tosin ollaan uusimassa ympäristönsuojelulain ja jätelain uusimisen vuoksi. Uuden oppaan, jonka nimeksi on tulossa ”Pilaantuneen alueen riskinarviointi ja -hallinta”, on arvioitu valmistuvan vuoden 2014 alussa.

Asetuksen mukaan arviointia on tarpeellista tehdä alueilla, joilla on harjoitettu tai harjoitetaan toimintaa, jossa haitallisia aineita on voinut joutua maaperään. Maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnin tavoitteena on selvittää voiko kohteen haitta-aineista aiheutua ihmisen terveyteen, ympäristöön, yleiseen viihtyisyyteen taikka yleisen tai yksityisen edun loukkaukseen kohdistuva riski tai haitta, jota ei voida hyväksyä. Mikäli riski ei ole hyväksyttävä, on alue puhdistettava. Pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointimenettely sisältää kolme vaihetta: arviointitarpeen tunnistamisen, perusarvioinnin ja tarkennetun arvioinnin. (Ympäristöministeriö 2007, 21)

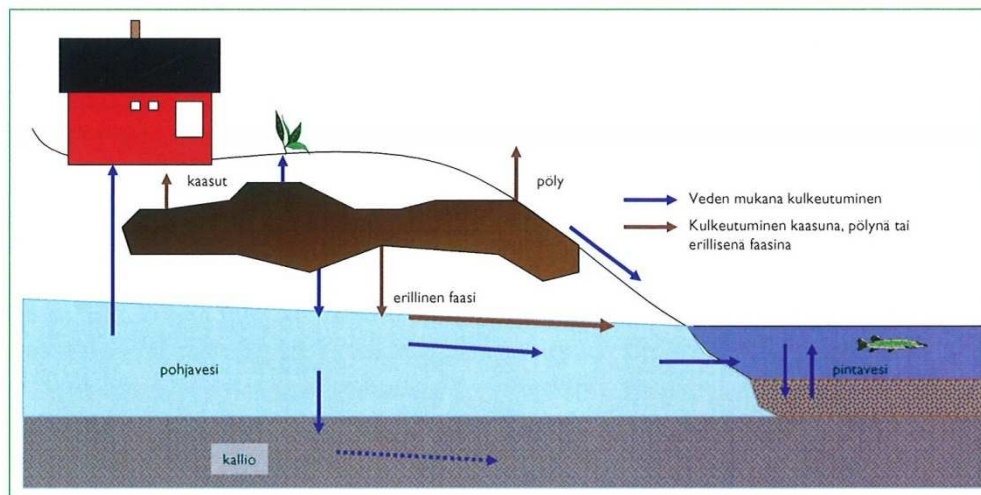
### **4.1. Arviointitarpeen tunnistaminen**

Ensimmäisessä vaiheessa arvioidaan kohteen historiatietojen ja todettujen pitoisuuksien perusteella, onko maaperän pilaantuneisuuden arvioinnin tarvetta. Pilaantuneisuus- ja puhdistustarve on arvioitava, jos yhden tai useamman haitallisen aineen pitoisuus maaperässä ylittää kynnyсарvon. Alueilla, joilla taustapitoisuus on kynnyсарvoa korkeampi, arviointikynnyksenä pidetään taustapitoisuutta. (Ympäristöministeriö 2007, 22)

### **4.2. Perusarviointi**

Perusarvioinnissa kuvataan ne kohteen ominaispiirteet, jotka saattavat vaikuttaa maaperän haitta-aineista tai näiden kulkeutumisesta aiheutuviin ympäristö- ja terveysriskeihin. Lisäksi tunnistetaan ja kuvataan tekijät, jotka vaikuttavat siihen, voidaanko riskit määrittää ohje- ja viitearvoilla. Arviointia tarkennetaan, jos riittävän luotettavia johtopäätöksiä alueen pilaantuneisuudesta ja puhdistustarpeesta ei voida tehdä.

Kohteen kuvaukseen tarvittavat tiedot kootaan kirjallisuudesta ja kohteesta valmiina olevista aineistoista, maastokäynneistä tai tarvittaessa kohteessa tehdyistä näytteenotoista. Kohdetietojen perusteella muodostetaan käsitteellinen malli haitta-aineiden esiintymisestä maaperässä ja niiden mahdollisista kulkeutumisreiteistä sekä niille mahdollisesti altistuvista kohteista.



KUVA 2. Käsitteellinen malli haitta-aineiden kulkeutumisreiteistä. (Ympäristöministeriö 2007, 32)

Riskin suuruus määritetään vertaamalla kohteesta mitattuja haitta-ainepitoisuuksia ohjearvoihin (alempi ja ylempi) ja muihin viitearvoihin. Ohjearvojen ylittyessä maaperä joko todetaan pilaantuneeksi ja puhdistaminen tarpeelliseksi tai arvioinnissa siirrytään seuraavaan vaiheeseen eli tarkennettuun arviointiin.

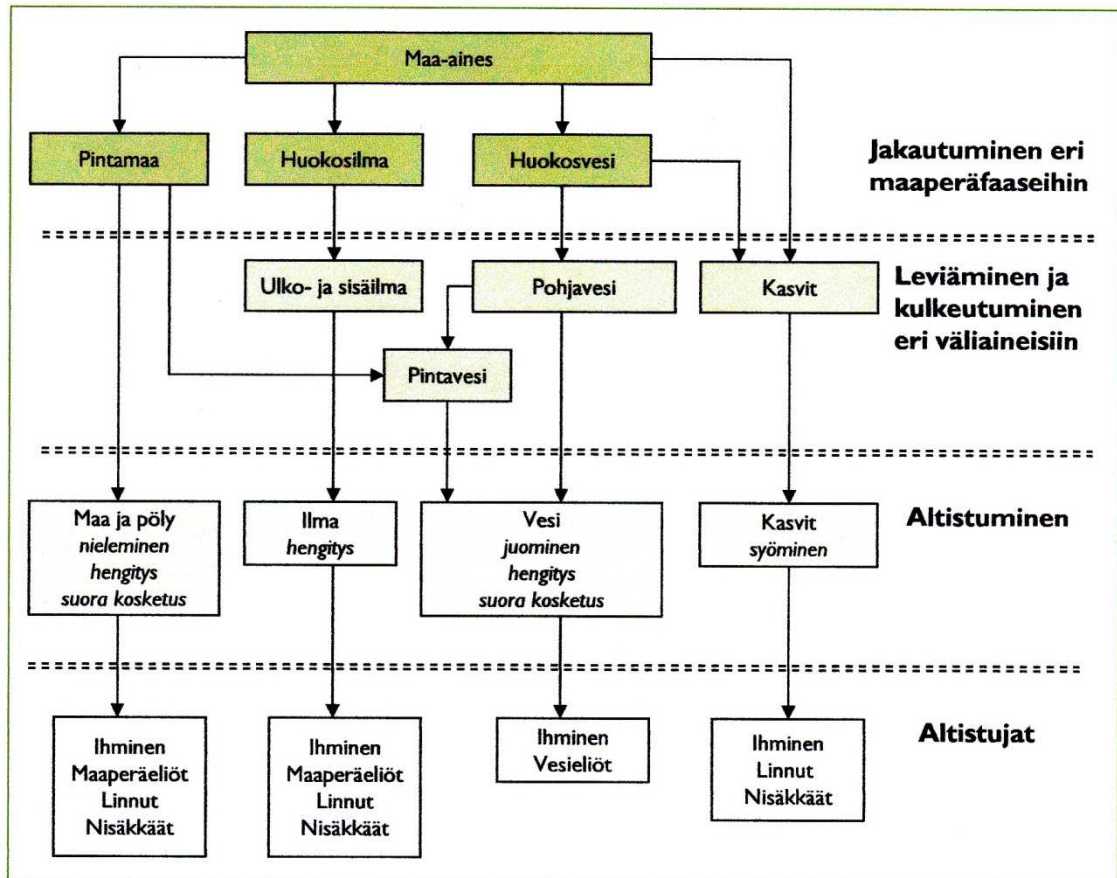
### 4.3. Tarkennettu arviointi ja riskinhallinta

Kolmannessa vaiheessa arviointia tarkennetaan, jos perusarvioinnissa ei voida tehdä riittävän luotettavia johtopäätöksiä alueen pilaantuneisuudesta. Tarkennetussa arvioinnissa keskitytään riskien kannalta merkittäviin haitta-aineisiin, olennaisimpiin altistustilanteisiin ja -reitteihin sekä todennäköisimpiin ja eniten altistuviin kohderyhmiin.

Riskin kuvaus on arviointiprosessin viimeinen vaihe, jossa esitetään arvio riskien luonteesta, suuruudesta ja hyväksyttävyydestä. Arvioinnissa käydään läpi kulkeutumis-, terveys- ja ekologiset riskit. Arviointi voidaan lopettaa, mikäli alue päädytään kunnosta-



maan tai haitallisia aineita sisältävät maa-ainekset kaivetaan. Tällöin tulee kuitenkin osoittaa, että maaperän haitta-aineiden jäännöspitoisuudet ovat hyväksyttävällä tasolla eli niin sanottu tavoitepitoisuus on saavutettu. (Ympäristöministeriö 2007, 22)



KUVA 3. Malli haitta-aineiden kulkeutumisesta. (Ympäristöministeriö 2007, 33)

Mikäli maaperä todetaan pilaantuneeksi, on ryhdyttävä toimenpiteisiin riskien vähentämiseksi. Haitallisia aineita voidaan poistaa tai rajoittaa niille altistumista. Riskinhallintatoimien suunnittelussa on olennaista selvittää, millaiset vähimmäistavoitteet alueen puhdistamiselle asetetaan ja mitä vaihtoehtoja tavoitteiden saavuttamiseksi on käytettävissä. Puhdistamisen yleistavoitteet määräytyvät ympäristönsuojelulain 75 §:n mukaan. Puhdistamisessa tulee ympäristönsuojelulain 4 §:n mukaan tavoitella ympäristön kannalta parhaan käytännön (BEP) ja parhaan käyttökelpoisen tekniikan (BAT) periaatteiden toteutumista. Riskinhallintatoimien tavoitteisiin ja laajuuteen voivat vaikuttaa myös muut tekijät, kuten alueen arvo ja arvostus, vaikutukset ihmisten viihtyvyyteen ja elinoloihin tai alueen omistukseen liittyvät imagotekijät. (Ympäristöministeriö 2007, 94)

Riskinhallintatoimenpiteet voivat kohdistua:

1. Lähteeseen eli maaperässä oleviin haitallisiin aineisiin
2. Haitta-aineiden kulkeutumisreitteihin
3. Altistujiin (ihmiset, kasvit, eläimet, maaperän mikrobit)

Maaperään kohdistuvissa riskinhallintatoimissa poistetaan maaperässä olevat haitta-aineet. Tämä tapahtuu joko kaivamalla ja kuljettamalla pilaantuneet maamassa muualle käsiteltäväksi tai edistämällä aineiden hajoamista haitattomaan muotoon itse kohteessa.

Toinen riskinhallintatoimenpide on, että estetään haitta-aineiden leviäminen altistusreittejä poistamalla. Haitta-aineet saattavat kulkeutua veden mukana, jolloin vesien pääsyä pilaantuneeseen maa-ainekseen voidaan vähentää eristysrakenteilla ja maanpinnan suojakerroksilla. Tällöin myös eläinten ja ihmisten mahdollisuus joutua suoraan kosketukseen pilaantuneen maa-aineksen kanssa estyy. Maa-aineksen vedenläpäisevyyttä voidaan pienentää stabiloinnilla ja kiinteytyksellä, jolloin minimoidaan haitta-aineiden liukenemista sade- ja valumavesiin ja estetään aineiden kulkeutuminen pölyn mukana ilmaan. (Ympäristöministeriö 2007, 97)

Altistuviin kohteisiin (ihmiset, eläimet ym.) voidaan vaikuttaa lähinnä maankäytön rajoituksin. Altistumismahdollisuuksia voidaan vähentää, esimerkiksi muuttamalla alueen käyttötarkoitusta tai rajoittamalla vedenkäyttöä. Pilaantuneelle alueelle pääsyä voidaan estää esimerkiksi aitaamalla alue ja kieltämällä alueelle pääsy.

Pilaantuneeseen kohteeseen tulee järjestää seuranta, jos alueelle jää korkeita haitta-ainepitoisuuksia tai aineen kokonaismäärä alueella on huomattava eikä aineiden kulkeutumista pitkällä aikavälillä pystytä luotettavasti arvioimaan. Kohteissa, joissa maaperän haitta-ainepitoisuudet ylittävät ongelmajätteille asetetun rajan, on yleensä ryhdyttävä kunnostustoimiin. (Ympäristöministeriö 2007, 97)

## 5 METALLEILLA PILAANTUNEILLE MAILLE SOVELTUVAT KUNNOSTUSMENETELMÄT

Pilaantuneille maille ja pohjavesille on kehitelty useita kunnostusmenetelmiä. Kunnostuksella pyritään joko haitta-aineen hävittämiseen maaperästä tai haitta-aineen kulkeutumisen estämiseen. Kunnostusmenetelmästä riippuen pilaantuneen maan puhdistuminen saadaan aikaan joko biologisilla, kemiallisilla tai fysikaalisilla reaktioilla. Biologisilla reaktioilla tapahtuva maan puhdistuminen voidaan saada aikaan esimerkiksi bakteerien tai kasvien avulla.

Kunnostusmenetelmää valittaessa tulee ottaa huomioon, soveltuuko menetelmä kyseisen haitta-aineen tai maaperän käsittelyyn ja saavutetaanko sillä haluttu puhdistustavoite. Maaperässä olevien haitta-aineiden määrä ja pitoisuudet tulee myös ottaa huomioon. Pilaantuneen alueen laajuus tulee selvittää, koska haitta-aineet saattavat kulkeutua maaperässä kauemmaksi, esimerkiksi veden mukana. Haitta-aineiden kulkeutumiseen vaikuttavat haitta-aineiden ja maaperän ominaisuudet, kuten aineen tiheys, liukoisuus, haihtuvuus ja biohajoavuus, maalaji, maan pH, hapetus-pelkistys-olosuhteet ja kosteus (Penttinen 2001, 7).

Kunnostusmenetelmän valintaan vaikuttaa myös kunnostukseen kuluva aika ja kustannukset. Useimmiten pilaantuneen maan kunnostaminen tulee ilmi vasta rakennushankkeen jo alkaessa, jolloin aikaa ei ole paljon käytettävissä kunnostuksen toteuttamiseen. Siksi yleisin menetelmä Suomessa on pilaantuneilla alueilla suoritettava massanvaihto, jolloin pilaantunut maa kaivetaan pois ja kuljetetaan muualle käsiteltäväksi.

Pilaantuneen maan kunnostaminen voidaan suorittaa paikasta riippuen joko *in situ*, jolloin puhdistus tapahtuu kohteessa maaperää tai pohjavettä siirtämättä, *on site* eli paikan päällä, esimerkiksi siirrettävässä puhdistusyksikössä tai *ex situ*, jolloin pilaantunut maa kaivetaan pois ja kuljetetaan muualle käsiteltäväksi. Ympäristönsuojelulain mukaan kunnostaminen tulee suorittaa parasta käyttökelpoista tekniikkaa käyttäen ja siten, ettei toiminnasta aiheudu muuta ympäristön pilaantumista.

Taulukkoon 1 on koottu eri kunnostusmenetelmiä ja jaoteltu menetelmät haitta-aineiden, maaperän ja kunnostuspaikan mukaan. Taulukkoon syötetyt tiedot perustuvat Penttisen julkaisuun ”Maaperän ja pohjaveden kunnostus”, jossa eri kunnostusmenetel-

miä on käyty läpi. Opinnäytetyöni kannalta keskityn jatkossa tarkastelemaan raskasmetalleilla pilaantuneiden maiden kunnostusmenetelmiä. Taulukon 1 mukaan metalleille soveltuvia menetelmiä ovat: kasveilla tapahtuva puhdistus eli fytoimediaatio, maanpesu (märkäerottelu), maan huuhtelu, elektrokineettinen, tehopoltto, bitumistabilointi, sementtistabilointi, eristys, kaatopaikkakäsittely, sekä terminen desorptio. Reaktiivinen seinämä ja pohjaveden pump & treat -menetelmä on tarkoitettu pohjavesien puhdistukseen ja soveltuu muun muassa liukoisen lyijyn käsittelyyn. Tässä työssä ei ole pohjavesiä kunnostettavana, joten en käsittele reaktiivista seinämää tai pohjaveden pump & treat -menetelmää vaihtoehtoisena menetelmänä.

TAULUKKO 1. Kunnostusmenetelmät

Kunnostusmenetelmä (maaperä tai pohjavesi)	Haitta-aineet			Maaperä					Kunnostuspaikka		
	Orgaan.	Metallit	Muut	Hk	Si	Sa	Mr	Org.	In situ	On site	Ex situ
Luontainen biohajoaminen	x			x	(x)	(x)	(x)	x	x		
Biologinen ilmahuuhtelu	x			x	x		(x)	x	x		
Tehostettu biolog.puhdistus	x			x	(x)		(x)	x	x		
Huokosilmäkäsittely	x			x	(x)	(x)	x	(x)	x		x
Fytoimediaatio (kasveilla)	x	x		kasvin kasvuvuorim.					x		
Peltojäätely	x			x	x	x	x	x	x		x
Kompostointi(auma)	x			x	x	x	x	x			x
Bioreaktorit	x			x	x	x	x	x			x
Maanpesu, märkäerottelu	x	x	x	x			x			x	x
Maan huuhtelu	x	x	x	x	(x)		(x)		x	x	
Elektrokineettinen	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Tehopoltto	x	x	x	x	x	(x)	x	x			
Massapoltto	x			x	x	(x)	x	x			x
Terminen desorptio	x	(x)		x	x	x	x	x			x
Bitumistabilointi	x	x		x	x	(x)	x	(x)	(x)	x	x
Sementtistabilointi	(x)	x	x	x	x	x	x	x		x	x
Eristys	(x)	x	x	x	x	x	x	x	x		x
Pohjaveden pump&treat	x	x		x	(x)	(x)	x	x			
Pohjaveden ilmastus	x			x	(x)	(x)	(x)	x	x		
Reaktiiviset seinämät	x	(x)		x	x	(x)	x	x	x		
Kaatopaikkakäsittely	x	x	x	x	x	x	x	x			x
x = soveltuu											
(x) = soveltuu tietyin rajoituksin											

Lisäksi käsittelen ampumaratojen kunnostukseen soveltuvia menetelmiä muun muassa seulptontaa ja imurointia (Ampumarata-alueiden pilaantunut maaperä 2002). Taulukkoon 2 on koottu yhteenveto kunnostusmenetelmistä ja niiden soveltuvuudesta ampumarata-alueiden kunnostamiseen. Taulukkoa lukiessa kannattaa huomioida, että kustannukset ovat luultavasti nousseet, ja vuonna 2007 on tullut voimaan uudet ohjeavot haitta-

aineille. Stabilointi näyttäisi olevan kokonaisvaltaisena kunnostusmenetelmänä edullisin vaihtoehto.

TAULUKKO 2. Ampumarata-alueille sopivat kunnostusmenetelmät (Ampumarata-alueiden pilaantunut maaperä 2002)

KUNNOSTUS-MENETELMÄT	Eristys	Seulonta	Märkäerotus/ pesu	Stabilointi	Elektroki- neettiset menetelmät	Reaktiiviset seinämät	Imurointi	Poltto
<b>MAALAJI</b>								
hiekkä	x	x	x	x	x	x		x
sora	x	x	x	x		x		x
savi	x				x	(x)		x
turve	x	(x)				x		x
humusmaa-aines	x	(x)						x
kallio							x	
<b>SOVELTUVUUS</b>								
	-suurille massamäärille -ei pohjavesi- alueella	-vallit -luodit ja haulit	-orgaanisen ja hienoaineksen osuus pieni	-haitta-aineen liukoisuus alhainen -orgaanisen maa- aineksen osuus pieni ei pohjavesialueelle	-kosteaa maa -savi- ja hieno- jakoinen hiekkä -liennut lyijy	-pohjavesialueille -haitalliset aineet kulkevat veden mukana	-kalliot -lyijyhaulit	-humuksen ja orgaanisen aineen poistoon
<b>HUOMIOITAVAA</b>								
	-vaatii rakentei- den seurantaa	-pölyä -ei poista liennutta lyijyä	-pesuvedet ja puhdistusjäännös käsitteltävä		-hidas -isot kivet tms. haitta	-vaatii rakenteiden seurantaa ja kunnossapitoa	-pölyä	-savukaasut puhdistettava -tuhka käsiteltävä -EU:n poltto- direktiivin vaatimukset
<b>HYÖTYKÄYTTÖ</b>								
* hauli- ja luotiromu		x	x					
* haitta-aineita alle raja-arvo	x <sup>1)</sup>		x	x		x		
* haitta-aineita yli raja-arvo			x	x		x		x
<b>MENETELMÄN KUSTANNUS</b>								
	<sup>2)</sup> 80–200 €/tn	30–50 €/tn	60–80 €/tn	50–60 €/h			70 €/h	160–500 €/m <sup>3</sup>

1) Lievästi pilaantuneet maat voidaan käyttää sijoituspaikan esim. kaatopaikan rakenteissa.

## 5.1. Haitta-aineita poistavat menetelmät

### 5.1.1 Elektrokineettinen menetelmä

Elektrokineettisellä käsittelyllä voidaan sähkökemiallisten ja -kineettisten prosessien avulla poistaa metalleja ja polaarisia orgaanisia haitta-aineita maasta. Elektrokineettinen menetelmä perustuu maahan asetettuihin elektrodeihin, anodeihin ja katodeihin, joiden välillä kulkee heikko tasavirta. Sähkövirta saa liikkeelle varautuneita aineita, esimerkiksi metalleja ja aiheuttaa niiden siirtymisen kohti elektrodeja. Metallit, ammonium-ionit ja positiivisesti varautuneet orgaaniset yhdisteet kulkeutuvat kohti katodia. (Penttinen 2001, 30)

Haitta-aineita voidaan poistaa maaperästä esimerkiksi pumppaamalla vettä elektrodien läheisyydestä tai saostamalla tai kompleksoimalla ioneja. Haitta-aineiden poistamista käytetään yleensä, kun kysymyksessä on metalleilla pilaantunut maaperä. Haitta-aineiden leviämistä voidaan estää muuttamalla elektrodien polaarisuutta, jolloin haitta-aineet kulkevat edestakaisin käsittelyalueella.

Elektrokinettinen menetelmä soveltuu tiiviille savi- ja silttimaille, joiden läpäisevyys on alhainen. Menetelmän teho on parhaimmillaan kosteuspitoisuuden ollessa noin 15 % ja tehokkuus vähenee, kun kosteuspitoisuus laskee alle 10 %:n. Menetelmä ei ole tehokas alueilla, joilla on voimakkaasti sähkönjohtokykyyn vaikuttavia tekijöitä, esimerkiksi malmiesiintymä, metallisia tai eristävää materiaalia olevia kappaleita. Hyvin happamat tai emäksiset olosuhteet ja hapetus-pelkistysolojen muutokset voivat myös heikentää menetelmän tehokkuutta. Toisaalta alhainen pH voi auttaa metallien poistamista. (Penttinen 2001, 31)

Menetelmää voidaan käyttää joko in situ, on site tai ex situ. Jos käsittely tehdään paikan päällä (in situ), on haitta-aineiden leviämistä ympäristöön tarkkailtava. Sovellettaessa on site tai ex situ tulee käsittelyalustan olla tiivis. Mahdollisten suotovesien talteenotto ja tarvittaessa käsittely on järjestettävä. Menetelmän sähkönkulutus on 100 - 150 kWh/m<sup>3</sup> riippuen maan tiiveydestä. (Penttinen 2001, 30 - 31)

Suomessa Elektrokineettistä menetelmää käyttäviä yrityksiä ovat muun muassa Nordic Envicon Oy, Eko Harden Technologies Oy ja Doranova Oy.

### **5.1.2 Fytoremediaatio**

Fytoremediaatiolla tarkoitetaan pilaantuneen maaperän kunnostamista kasvien avulla. Haitta-aineet voivat olla orgaanisia tai epäorgaanisia. Fytostabiloinnissa kasveja käytetään kiinnittämään haitta-aineet maaperään ja vähennetään haitta-aineiden liikkuvuutta. Kasveja on käytetty muun muassa kaivosalueiden jätekasojen haitta-aineiden stabiloidmiseen. Kasveja voidaan käyttää myös metallien tai muiden haitta-aineiden poistamiseen maaperästä (fytoekstraktio). Tällöin kasvit ottavat juurillaan epäorgaanisen haitta-aineen maaperästä ja kuljettavat sen maanpäällisiin osiinsa. Kasvukauden jälkeen syn-

tyvä kasvijäte kerätään ja hävitetään ongelmajätteenä. (Vallinkoski, Hassinen ja Servomaa 2007, 10).

Puhuttaessa hyperakkumulaattorikasveista tarkoitetaan kasveja, jotka keräävät itseensä huomattavan suuria, muille kasveille myrkyllisiä määriä metalleja maanpäällisiin osiinsa. Hyperakkumulaattoriksi kutsutaan kasvia, joka kerää kuivapainostaan vähintään 100 mg kg<sup>-1</sup> (0,01%) kadmiumia, 1000 mg kg<sup>-1</sup> (0,1%) lyijyä tai nikkeliä tai 10,000 mg kg<sup>-1</sup> (1%) sinkkiä. Maaperän pH vaikuttaa metallien liukoisuuteen maaperässä ja kulkeutumiseen kasviin. Happamassa maaperässä metalli-ionit irtoavat helpommin kasvien käytettäväksi. (Vallinkoski, Hassinen ja Servomaa 2007, 9)

Hyperakkumuloivia kasveja tunnetaan 400 lajia ja useimmat näistä keräävät nikkeliä ja sinkkiä. Myös lyijyä ja arseenia kerääviä kasveja tutkitaan. Poppelien suvun (*Populus* sp.) puut ovat melko runsaasti tutkittuja ja käytettyjä kasveja fytoimediaatiohankkeissa. Syynä tähän on niiden hyvä kasvupotentiaali erilaisilla kasvupaikoilla, nopeakasvuisuus ja haapojen ja poppelien kyky kerätä metalleja. Hybridihaapa on risteytetty metsähaavasta ja pohjoisamerikkalaisesta haavasta ja se on erittäin nopeakasvuinen ja voi suotuisissa kasvuolosuhteissa saavuttaa 25 vuodessa yli 20 metrin valtapituuden ja 300 m<sup>3</sup> hehtaarikohtaisen tuoton. (Vallinkoski, Hassinen ja Servomaa 2007, 10 - 11) Hampun ja lupiinin käyttöä on tutkittu CCA-aineilla (kupari, kromi ja arseni) pilaantuneilla mailla ja ne näyttäisivät soveltuvan fytoimediaatioon alueilla, joilla saastuneen maan konsentraatio on alle 200 mg kg<sup>-1</sup> maata (Manninen-Egilmez 2010).

Fytoimediaatiota on Suomessa käytetty pilaantuneiden maiden kunnostuksessa lähinnä koeluontoisesti. Senaatti-kiinteistöillä ja Metsäntutkimuslaitoksella on alkamassa ainutlaatuinen yhteistyöprojekti, jonka tavoitteena on puhdistaa pilaantunutta maata haapojen avulla. Kunnostustyö alkaa keväällä 2013, ja se jatkuu noin 10 vuotta. Puhdistettava kohde sijaitsee Luumäen Somerharjulla, jonne istutetaan metsä- ja hybridihaavan taimia. (Haapa saastuneen maan puhdistajana)

Haapojen on todettu pystyvän puhdistamaan maaperää juurten pinnalla ja kasvin sisällä olevien bakteerien avulla (Hybridihaapa puhdistaa saastunutta...). Somerharjun alue on 7 ha kokoinen, josta saastunutta aluetta on noin 1,5 ha. Luumäellä on sijainnut kyllästämöalue, joka on lopettanut toimintansa 1950-luvulla. Pääasiallinen saastelähde on kreosootti, lähinnä eri PAH-yhdisteet sekä pinnassa myös öljyt. Myös pohjavesi on pi-

laantunut ylemmistä maakerroksista kulkeutuvista öljy-yhdisteistä. PAH- ja öljypitoisuudet on tarkoitus alentaa ylemmissä maakerroksissa ihmisen terveydelle riskittömälle tasolle. Kunnostusta kuvaillaan seuraavasti: (Haapa saastuneen maan puhdistajana)

- Käytetään vain etukäteen testattuja ja hyväksi havaittuja haapaklooneja
- Erittäin tiheä istutus, noin 10000 tainta/ha
- Paikallinen ”luonnonvalinta” eli huonoimmat kloonit poistetaan toisen kasvukauden aikana ja tilalle istutetaan vain parhaiden kloonien pistokkaita
- Käytettävät hybridihaapa- ja haapakloonit (10 kpl) valitaan taimitarhatestauksen ja pitkäaikaisten kenttäkoetestausten perusteella

Fytoremediaation etuna on menetelmän taloudellisuus, ympäristöystävällisyys, positiiviset maisemalliset vaikutukset, haitta-aineiden liukoisuuden pieneneminen ja maan stabiloituminen. Parhaiten menetelmä soveltuu laaja-alaisille, lievästi pilaantuneille maille, joiden perinteinen puhdistaminen on hankalaa. Menetelmällä on myös rajoituksensa, esimerkiksi käsittelyaika on pitkä, joten se ei sovellu kiireellisille tapauksille. Puhdistusvaikutus ulottuu lähinnä maan pintakerrokseen, juuriston alueelle. Käsiteltävä maan pitää soveltua kasvin kasvualustaksi, eikä haitta-aineiden pitoisuudet saa olla kasville myrkyllisiä. Myös vuodenajat ja kasvukauden pituus rajoittavat toimintaa. Menetelmän käyttö vaatii kunnossapitoa, kuten lannoitusta ja sadonkorjuuta. Lisäksi haitta-aineita keränneet kasvinosat tulee käsitellä ongelmajätteenä ja hävittää sen mukaisesti. (Penttinen 2001, 18 - 19)

### **5.1.3 Imurointi**

Imurointi sopii esimerkiksi ampumarata-alueille lyijyhaukien poistoon maastosta. Teollisuusimurilla imetään esimerkiksi kallion pinnalta ja halkeamista hauleja, joita kaivinkoneet eivät saa poistettua. Imurointi on hidasta käsityötä ja erityistä huomiota on kiinnitettävä imuroijien suojaamiseen pölyltä. (Ampumarata-alueiden...2002, 133)

### **5.1.4 Kaivu ja kuljetus**

Kaivulla tarkoitetaan pilaantuneiden maamassojen poistamista tai siirtämistä joko väli-varastoon, käsiteltäväksi, loppusijoituspaikalle tai hyötykäyttöön. Jos kaivettujen maa-



ainesten tilalle tuodaan korvaavia maa-aineksia, on kyseessä massanvaihto. Kaivamista ei varsinaisesti voida nimittää kunnostusmenetelmäksi, koska kaivu ei poista haitta-aineita kaivetuista massoista. Kunnostusmenetelmässä kaivamista jatketaan, kunnes kaivannon pohjan ja sivujen haitta-ainepitoisuudet ovat alle määritetyn puhdistustavoitteen.

Kaivumaita voidaan välivarastoida, jos massoja ei voida suoraan kuljettaa käsiteltäviksi tai loppusijoituspaikalle. Työmaalla tapahtuvaa väliaikaista maamassojen varastointia(kuormakasat) ja työmaalla, käsittelypaikalla tai loppusijoituspaikalla tapahtuvaa, laadunvarmistukseen liittyvää varastointia ei tässä yhteydessä lueta välivarastoinniksi.

Kunnostuksen päävaiheet ovat seuraavat:

- pilaantuneiden maamassojen kaivu (ja korvaaminen puhtailla maa-aineksilla)
- maamassojen esikäsittely (esim. seulonta)
- välivarastointi kunnostuskohteessa (kuormakasat)
- kuljetus
- välivarastointi käsittelypaikalla tai muulla tarkoitukseen sopivalla paikalla
- pilaantuneiden maamassojen käsittely
- loppusijoitus tai hyötykäyttö

Pilaantuneiden maiden maansiirrossa on kiinnitettävä huomiota työturvallisuuteen. Siirrettävä maa voi sisältää ympäristölle ja terveydelle vaarallisia aineita, joten työntekijöiden sekä lähialueella asuvien ja liikkuvien suojaamiseen ja haitallisten aineiden leviämisen estämiseen on kiinnitettävä erityistä huomiota. Haitta-aineiden leviäminen voi tapahtua esimerkiksi haihtumisena, pölyämisenä tai vesien mukana. Suojaustoimet kasvattavat kustannuksia ja hidastavat usein työn tekemistä.

Pilaantuneiden maamassojen välivarastoinnille on asetettu rajoituksia. Pilaantuneen maan välivarastointiin muualla kuin kunnostettavan kiinteistön alueella vaaditaan ympäristölupa. Pilaantuneiden maiden välivarastointia ei katsota kaatopaikkatoiminnaksi, jos VNp 1049/1999 mukaisesti kyse on alle kolmen vuoden pituisesta jätteen varastoinnista ennen sen hyödyntämistä tai esikäsittelyä, tai kyse on alle yhden vuoden pituisesta jätteen varastoinnista ennen sen käsittelyä.

Kaivu ja massanvaihto on taloudellisesti huono vaihtoehto silloin, jos pilaantuneita maamassoja on erittäin paljon ja kuljetusmatkat ovat pitkiä. Kaivuolosuhteisiin vaikuttavia ja kaivamista osin rajoittavia tekijöitä ovat maa-aineksen kaivettavuus, kaivussyvyys, pohjaveden pinnan taso, alueella olevat rakennukset ja rakenteet, sekä kaivannon stabiliteetti tai tukemistarve.

### **5.1.1 Maan huuhtelu**

Maan huuhtelu -menetelmässä maahan tai pohjaveteen johdetaan imeyttämällä tai injektoidamalla vettä, jossa voi olla myös haitta-aineen liukoisuutta lisäävää ainetta, esimerkiksi alkoholia. Pohjaveden pinnan noustessa pilaantuneeseen maakerrokseen haitta-aineet irtoavat pohjaveteen, joka johdetaan käsiteltäväksi. Menetelmä soveltuu karkearakeisille maalajeille, erityisesti tasaisesti kerrostuneille hiekka-alueille. (Penttinen 2001, 28 - 29)

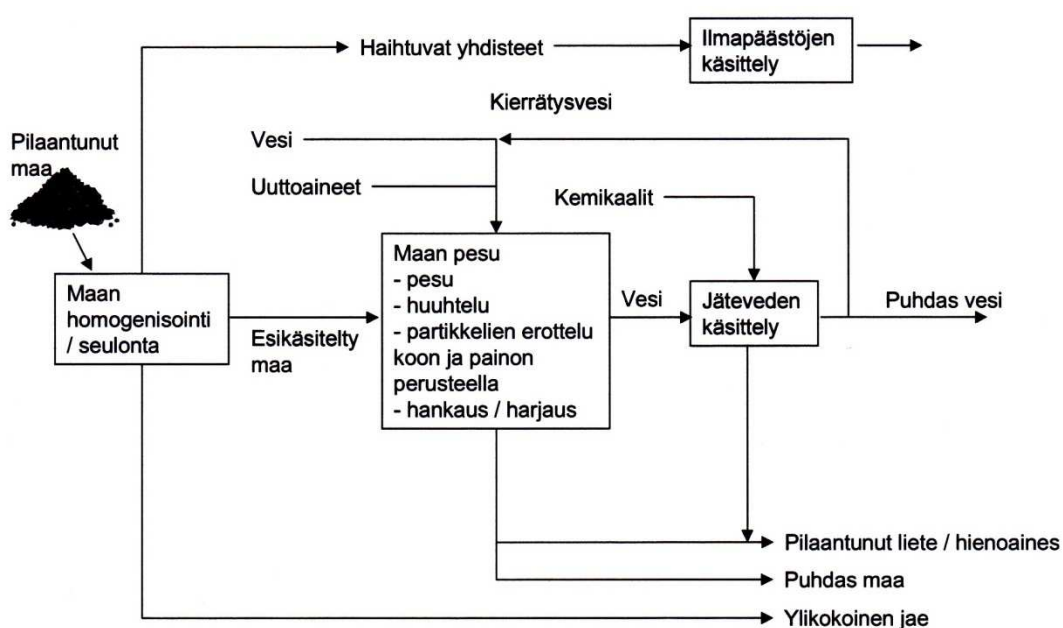
Haitta-aineita ja liuotinta sisältävä vesi tulee pääsääntöisesti käsitellä. Se voidaan pumpata maan pinnalle esimerkiksi aktiivihiilisuodatuksen perustuvaan käsittelylaitokseen, josta se voidaan johtaa ympäristöön tai jatkokäsittelyyn kunnalliseen jätevesilaitokseen. Puhdistettu vesi voidaan myös kierrättää kunnostusprosessissa. Suurin kustannus syntyy lisäaineiden erottelusta kierrätystä varten. Huuhtelunesteiden käsittelystä syntyy lietettä ja kiinteää jätettä, kuten käytettyjä aktiivihiilisuodattimia, jotka tulee käsitellä asianmukaisesti. Tarvittaessa tulee tarkkailla ja kontrolloida haihtuvien yhdisteiden aiheuttamia ilmapäästöjä. Lisäksi tulee arvioida voidaanko maaperään tai pohjaveteen jättää mahdollisia huuhteluaineita. (Penttinen 2001, 28)

Suomessa menetelmää ei tiettävästi ole käytetty. Ongelmia saattaa muodostua lainsäädännön ja lupamenettelyjen kanssa. Ympäristöluvan saaminen voi olla vaikeaa, erityisesti jos käytetään liuottimia tehostamaan haitta-aineiden liukenemistä. Tärkeillä pohjavesialueilla pohjaveden pilaantumisriski on suuri ja tällaisilla alueilla maan huuhtelumenetelmää ei tulisi käyttää. (Penttinen 2001, 29)

### 5.1.2 Maanpesu (Märkäerottelu)

Maanpesussa pilaantunut hienoaaines (pesurejekt) ja orgaaninen aine erotellaan puhtaasta, käyttökelpoisesta maasta veden avulla. Erottelu voi perustua partikkelien koon, ominaispainoon tai pintaominaisuuksiin tai näiden yhdistelmiin. Partikkelien fyysikaalisten ominaisuuksien lisäksi haitta-aineiden erottelu ja konsentroiminen voi perustua niiden liukenemiseen tai suspendoitumiseen pesuliukokseen. Pesutehoa voidaan parantaa uuttoliuosten, pinta-aktiivisten aineiden, pH:n säätäjien tai kelatoivien yhdisteiden avulla. Pesutehoa voidaan myös parantaa kuumentamalla vesi, jolloin haihtuvat yhdisteet irtoavat tehokkaasti maaperästä. Maan pesua voidaan pitää esikäsittelymenetelmänä ja pesuveden ja -rejektin jatkokäsittely, esimerkiksi jälkipoltolla on yleensä tarpeellista. (Penttinen 2001, 26)

Pilaantuneen maan pesu tapahtuu yleensä erillisissä pesulaitteistoissa, jotka voivat olla siirrettäviä tai kiinteitä. Laitteistojen kapasiteetit vaihtelevat noin 5-40 t/h. Jos käytetään siirrettävää käsittelylaitteistoa, tulee käsittelyalueella olla tiivis asfaltti- tai vastaava kerros, jolla estetään pesuvesien kulkeutuminen ympäristöön. Jos pilaantunut alue ulottuu pohjaveden pinnan alapuolelle, tulee tarvittaessa järjestää pohjaveden pumppaus ja käsittely. Puhdas maa voidaan palauttaa kohteeseen, jos se täyttää puhdistusvaatimukset eikä sitä sijoiteta esimerkiksi tärkeälle pohjavesialueelle tai kosketuksiin pinta- tai pohjaveden kanssa.



KUVA 4. Maanpesu-prosessi. (Penttinen 2001)

Menetelmä soveltuu parhaiten karkeille maille. Käsiteltävässä massassa tulisi olla vähintään 50 % hiekkaa ja soraa. Maan suuri savi- tai silttipitoisuus vaikeuttaa menetelmän soveltamista.

Märkäerottelua tekee Suomessa esimerkiksi Doranova Oy. Doranovan internet-sivuilla kerrotaan, että märkäerottelutekniikka soveltuu hyvin vaativiin puhdistusprojekteihin, joissa käsitellään esimerkiksi mineraaliöljyillä, raskasmetalleilla, PAH-yhdisteillä, dioksiineilla/furaaneilla tai asbestilla pilaantunutta maaperää. Märkäerottelussa käytetään liikuteltavaa puhdistusyksikköä. Märkäerottelu on erittäin toimiva ratkaisu esimerkiksi teollisuusalueiden useita erilaisia haitta-aineita sisältäville maamassoille. Märkäeroteltu puhdas maa-aines voidaan käyttää kohteessa uudelleen. Vain ongelmamaat, joihin pilaantuminen on sitoutunut, täytyy sijoittaa kaatopaikalle tai käsitellä muutoin vaarattomiksi. (Doranova Oy 2014)

### 5.1.3 Seulonta

Maata voidaan seuloa taso- tai rumpuseuloilla ja siten erotella erikokoiset ja -painoiset jakeet toisistaan. Seulonta soveltuu esimerkiksi ampumarata-alueille luotien erottelemiseen maasta. (Ampumarata-aluideiden...130)

Ekokem on kehittänyt menetelmän, jolla se pystyy erottelemaan luodit luotipenkan maa-aineksesta. Erotteluun käytettävä tekniikka perustuu sensoriteknologiaan ja magneettisuuteen pyörrevirtaerotin- ja sähkömagneettiprosesseissa. Alun perin tekniikka on kehitetty polttolaitosten kuonan käsittelyyn. Käsittelylaitteisto on siirrettävä, joten se mahdollistaa erottelun suoraan paikan päällä puhdistettavalla ampumaradalla. Luodeista saadut alkuaineet voidaan kierrättää. Metallit päätyvät eurooppalaisiin jalostuslaitoksiin ja sitä kautta teollisuuden raaka-aineiksi. (Mäenanttila, V. 2012, 8 - 9)

Suomessa Geologisessa tutkimuskeskuksessa on testattu luotien erotteluun myös erilaisia kaivostekniikoita, kuten pesumenetelmää. Märkäseulonnalla puhdistettavasta maa-aineksesta saadaan uusiokäyttöön sekä puhdistettu maa-aines että erotellut metallit. Hintikka on esittänyt laskelman ampumaratamaan luotipenkoista tuotetulle metallirikasteelle:  $0,8 \times 1,7 \text{ (Pb)} + 0,2 \times 5,4 \text{ (Cu)} = 2,4 \text{ €/kg} = 2440 \text{ €/t rikaste}$ . Maa-aineksen arvoisäl-

tö on hänen mukaan 24,4€/t, jos maa-aines sisältää 1 % luoteja. Menetelmä ei ole kaupallisessa käytössä. (Hintikka 2010)

### **5.1.1 Terminen käsittely, tehopoltto**

Termisellä puhdistusmenetelmällä tarkoitetaan polttokäsittelyä, jossa maamassaan sitoutuneet orgaaniset haitta-aineet hapetetaan polttamalla haitattomiksi yhdisteiksi. Suomessa on Ekokem Oy:llä käytössä kaksi polttomenetelmää: massapoltto ja tehopoltto. Massapoltossa haitta-aineet höyrystetään 500 - 800 °C:n lämpötilassa, josta ne johdetaan jälkipolttoon (yli 1000 °C). Massapoltto soveltuu orgaanisilla haitta-aineilla pilaantuneille maille. Stabiloinnin esikäsittelynä käytettynä se soveltuu myös epäorgaanisilla haitta-aineilla pilaantuneille maille. Tehopoltto (yli 1300 °C) soveltuu vaikeasti pilaantuneille maille. Tehopoltto soveltuu myös maille, jotka ovat epäorgaanisilla ja orgaanisilla haitta-aineilla pilaantuneita. Lopputuotteena syntyvää kuonaa voidaan käyttää esimerkiksi kaatopaikkojen rakennusmateriaalina. (Penttinen 2001, 32)

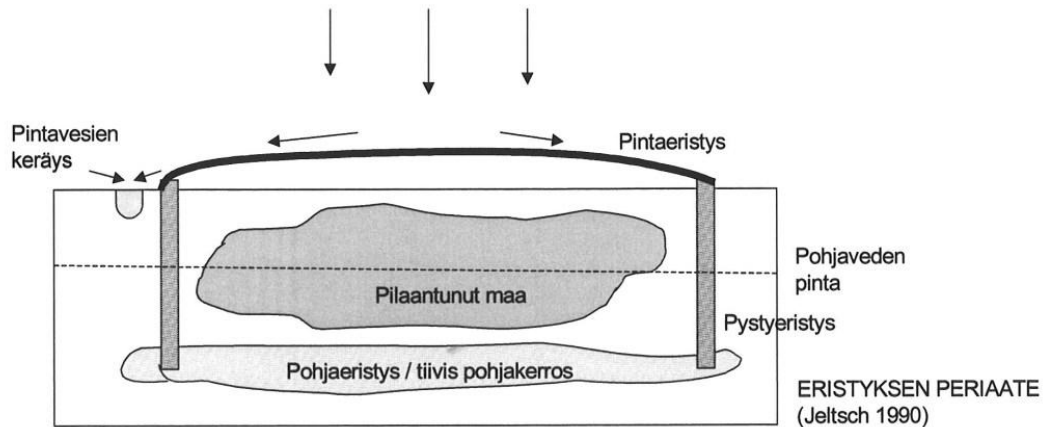
## **5.2. Haitta-aineiden leviämisen estäminen**

### **5.2.1 Eristäminen**

Eristämisellä tarkoitetaan maaperässä olevien haitta-aineiden leviämisen ja kulkeutumisen estämistä ympäristöön. Eristäminen ei poista haitta-aineita maaperästä, joten ne muodostavat edelleen tietyn ympäristöriskin, mikäli eristysrakenne jostain syystä vaurioituu. Eristäminen soveltuu parhaiten haitta-aineille, joiden liikkuvuus on alhainen. Yleisimmin eristystä käytetään läjitettäessä maita, jotka ovat pilaantuneet epäorgaanisilla aineilla kuten metalleilla ja syanideilla. Menetelmä soveltuu myös asbestilla pilaantuneille maille. Eristämistä käytetään yleisesti kaatopaikkarakenteissa. (Penttinen, R. 2001)

Menetelmällä pilaantunut maa-aines eristetään ympäristöstä niin, että sade-, pinta- ja pohjaveden pääsy rakenteen sisällä olevaan pilaantuneeseen maahan estyy. Samalla rajoitetaan ilman pääsyä kohteeseen ja vähennetään jätteen tai haitta-aineen reagointia

hapon kanssa. Myös eläinten ja ihmisten mahdollisuus joutua suoraan kosketukseen haitta-aineen tai jätteen kanssa estetään.



KUVA 5. Eristyksen periaate. (Penttinen, R. 2001)

Pintaeristyksellä on ensisijaisesti tarkoitus estää sadevesien imeytyminen maainekseen ja haitta-aineiden huuhtoutuminen sadeveden mukana. Pystyeristyksen tehtävänä on eristää pilaantunut kohde maaperässä virtaavasta vedestä ja pohjavedestä sekä estää likaisen suotoveden pääsy ympäristöön. Pystyeristys rajoittaa kaasupäästöjä, muuttaa pohjaveden virtausta ja pinnan tasoa sekä lisää maan vakavuutta. Pilaantunut maa-aines on myös pohjaeristettävä, jos alla ei ole tiivistä ja eristävää maakerrosta tai kallioperää. Pohjamaan tiivistys tehdään usein injektoimalla maahan sementtiä tai bentoniittia.

Eristysmateriaaleina voidaan käyttää joko luonnon- tai synteettisiä materiaaleja, sekä teollisuudessa syntyviä jättemateriaaleja. Yleisimmät eristemateriaalit Suomessa ovat: (Penttinen, R. 2001)

- sementti
- bentoniitti tai bentoniitin ja maa-aineksen seos
- savi
- muovista tai kumista valmistetut geomembraanit
- kivihiilen lentotuhka
- kuituliete metsäteollisuudessa (kaatopaikkojen pintarakenteet)
- siistausjäte metsäteollisuudesta (kaatopaikkojen pintarakenteet)

Eristemateriaalin kestävyys on kiinnitettävä huomiota; sen tulee kestää murtumattomana kauan, jopa satoja vuosia. Biologinen toiminta, kemialliset reaktiot ja fysikaaliset prosessit voivat vaikuttaa eristeen tiiviyyteen. Eriste tulee olla rakennettu siten, että kasvien juuret eivät pääse sitä rikkomaan. Lisäksi eristerakenteen pinta- ja suotovesien keräys ja tarkkailu on järjestettävä. (Penttinen, R. 2001)

### 5.2.1 Stabilointi

Stabiloinnissa haitta-aineita ei poisteta maasta eikä niitä muuteta vähemmän haitallisiksi yhdisteiksi. Stabiloinnissa pyritään estämään haitta-aineiden liikkuminen ja leviäminen ympäristöön sitomalla ne sideaineella, esimerkiksi sementillä tai bitumilla maa-ainekseen. Ennen stabiloinnin suorittamista maamassalle on tehtävä sopiva sideaineiden sekoitussuhde eli reseptointi. Lisäksi massalle on tehtävä liukoisuustesti, jolla varmistetaan, että haitta-aineita ei liukene yli sallitun määrän. Reseptointi ja liukoisuustestin suorittaminen voivat viedä aikaa jopa 0,5 - 1 vuotta. (Penttinen, R. 2001, 36)

Sementtistabilointi soveltuu erityisesti kiviainespohjaisten, raskasmetalleilla pilaantuneiden maiden kiinteyttämiseen. Tyypillisiä kunnostuskohteita ovat arseenilla, kromilla ja kuparilla pilaantuneet kyllästämöalueet (Penttinen, R. 2001, 39). Esimerkiksi Lemminkäinen Infra Oy:llä on käytössä stabilointimenetelmä Ekostab c, joka soveltuu erityisesti raskasmetalleilla pilaantuneiden maiden kiinteyttämiseen. (Lemminkäinen Infra Oy)

Ennen stabilointia pilaantunut maa täytyy esikäsitellä seulomalla. Seulonnalla maa-aineksesta poistetaan isot kivet, puu ja muu kiinteytykseen soveltumaton materiaali. Mikäli pilaantunut maa-aines sisältää runsaasti kiviä, voidaan koko massaerä murskata. Syntyvä murske voidaan käyttää hyödyksi kiinteytyksessä, jolloin rakenteen lujuus- ja ympäristötekniset ominaisuudet paranevat. Jos käsiteltävä maa-aines sisältää runsaasti savea, humusta tai muuta kiinteytystä haittaavaa materiaalia, maa-ainekselle suoritetaan esikäsitely. Runsaasti savea sisältävä maa-aines voidaan esikäsitellä mm. kalkilla. Sillä voidaan säätää happamuutta ja parantaa käsiteltävyyttä. (Lemminkäinen Infra Oy)

Stabilointi voidaan suorittaa kohteessa tai sen välittömässä läheisyydessä. Stabilointimassa sekoitetaan erityisesti pilaantuneiden maiden käsittelyyn suunnitellulla seko-

tusasemalla, jolloin varmistetaan massan paras mahdollinen sekoittuminen ja homogeenisuus. Jos pilaantuneen maan paksuus on alle puoli metriä, kiinteytyksen voi tehdä myös paikan päällä stabilointijyrsimellä. (Lemminkäinen Infra Oy)

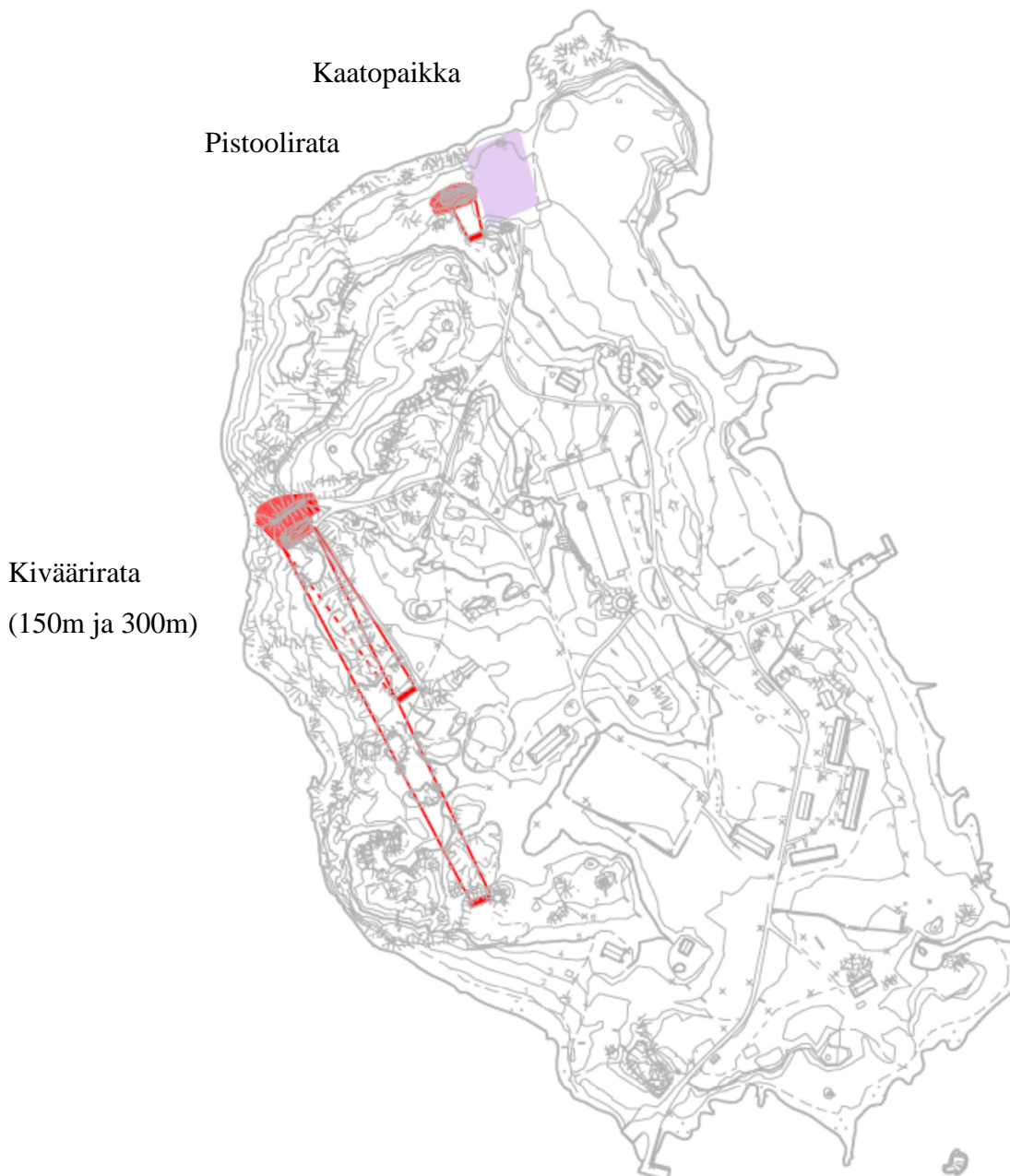
Massa levitetään yleensä tiehöylällä tai pyöräkuormaajalla. Erityisen vaativissa kohteissa massa levitetään asfaltin levittimellä, millä saavutetaan tarkka kerrospaksuus, massan homogeenisuus sekä esitiivistys. Varsinainen tiivistys tehdään raskaalla täräjätyrällä. (Lemminkäinen Infra Oy)



## 6 CASE: KUUSKAJASKARIN METALLEILLA PILAANTUNEET MAAT

### 6.1. Kohteen kuvaus

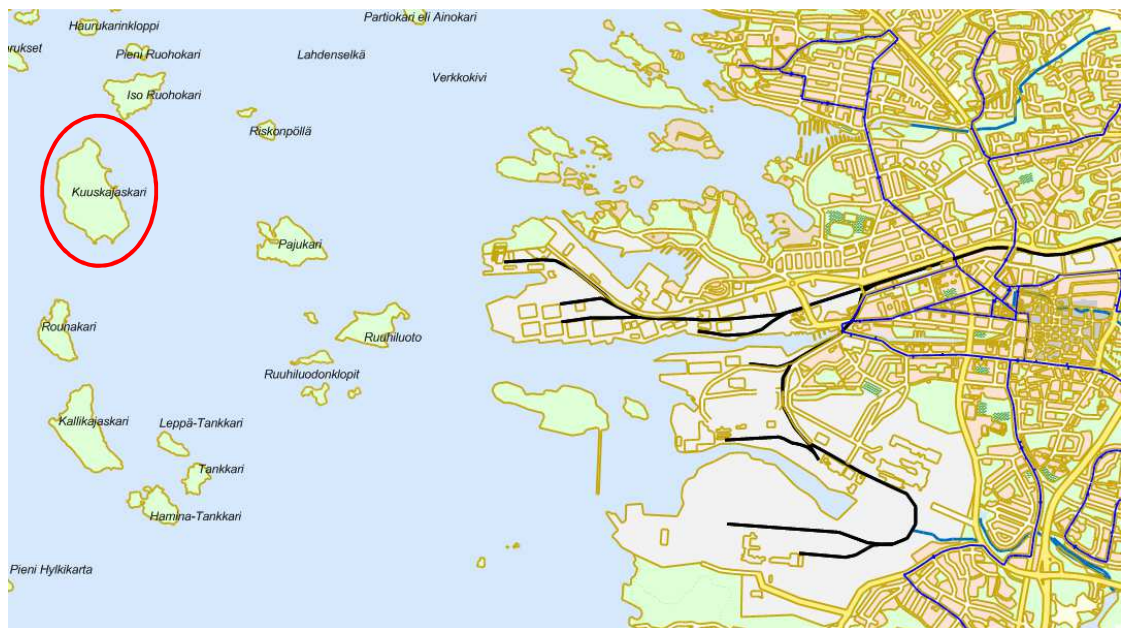
Kuuskajaskarin linnakesaari on ollut Suomen puolustusvoimien käytössä vuodesta 1939 vuoteen 1997 saakka. Saarella on ollut puolustus- ja koulutustoimintaa. Ampumatoinnin seurauksena saarella on raskasmetalleilla pilaantuneita alueita.



KUVA 6. Kuuskajaskarin ampumaratojen ja kaatopaikan sijainti.

Maaperän pilaantumista on aiheutunut ammutaharjoituksista, joita on suoritettu saaren länsipuolella sijaitsevalla kivääriradalla, sekä pohjoisosassa sijaitsevalla pistooliradalla. Lisäksi saaren pohjoisosassa sijaitsee vanha käytöstä poistunut armeijanaikainen kaato-paikka, jossa maaperän on todettu olevan raskasmetalleilla pilaantunutta.

Kuuskajaskarin linnakesaari sijaitsee Rauman saaristossa, noin kolmen kilometrin päässä mantereesta. Saari on pinta-alaltaan noin 28 hehtaaria. Saari on siirtynyt vuonna 2001 Rauman kaupungin omistukseen.



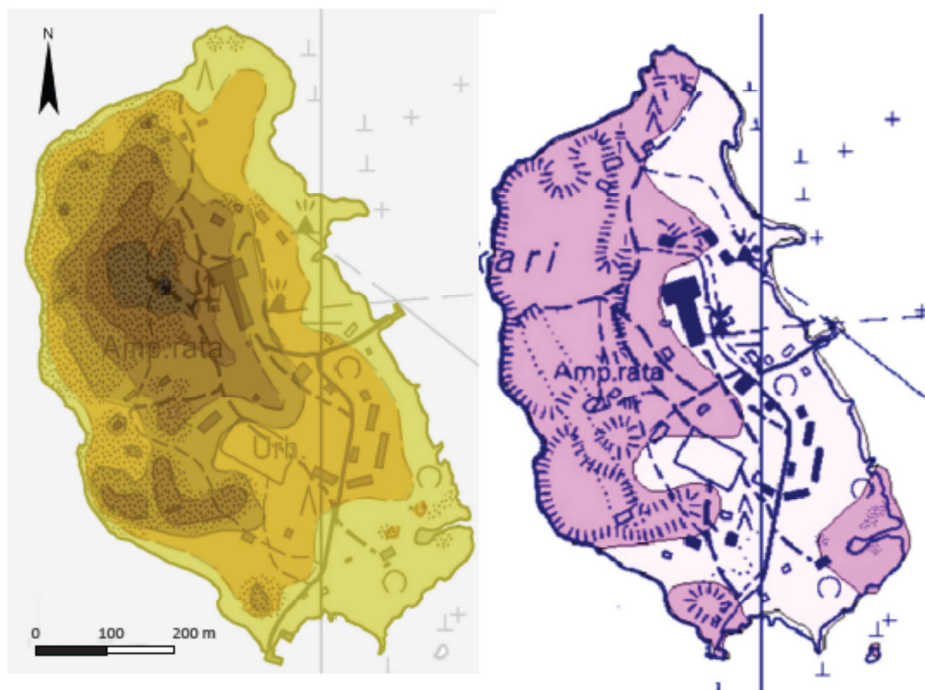
KUVA 7. Kuuskajaskarin sijainti (Rauman kaupunki)

Saaren ympäristö on pääasiassa mänty- ja kuusivaltaista metsää. Saaren keskiosiin on jäänyt puolustusvoimien aikaisia rakennuksia ja linnoitusrakenteita. Osa rakennuksista on kesäisin virkistys- ja matkailukäytössä. Saarelle on mahdollista päästä veneellä ja retkeillä omatoimisesti koko saarella. Lisäksi kesäisin on järjestetty vesibussiyhteys mantereelta.

Saaren topografia on melko loivapiirteistä. Korkein kohta +15 metriä mpy on saaren luoteisosassa. Saaren länsiosan ranta-alueet ovat jyrkkiirteisiä ja kallioisia, kun taas idässä ranta-alueet ovat loivia. Kallioperän on todettu olevan suurimmaksi osaksi graniittia. Saaren itäpuoli on maaperältään pääasiassa moreenia (Hannula 2011) (Hannula 2011) Länsirannan kalliot toimivat Kuuskajaskarin vedenjakajana, josta pintavedet laskeutuvat mereen. Saarella ei ole tärkeitä pohjavesialueita.



KUVA 8. Kuuskajaskarin peruskartta ja ortokuva vuodelta 2011 (Rauman kaupunki)



KUVA 9. Kuuskajaskarin topografia ja maaperä. (Hannula 2011)

Voimassa olevan Kuuskajaskarin ranta-asemakaavan (29.10.2001) mukaan saari on kaavoitettu virkistyspalvelualueeksi. Saarelle on laadittu myös alustava asemakaavaluonnos (Liite 1). Kaavaluonnoksessa esitetään saaren länsiosaa, jossa muun muassa

kivääri- ja pistoolirata, sekä kaatopaikka sijaitsevat, Selkämeren kansallispuistoon kuuluvaksi luonnonsuojelualueeksi. Keskiossa on osoitettu matkailua palvelevien rakennusten korttelialueeksi ja saaren itäpuoli säilyisi virkistyspalvelualueena.

## **6.2. Puolustusvoimien ampumatoiminta Kuuskajaskarissa**

Saaren toimintahistoriasta on haastateltu sähköpostitse saarella aikaisemmin työskennelleitä Tauno Setälää ja Veli-Pekka Paateroa. Heiltä on saatu tietoa muun muassa varusmiesmääristä, saarella käydyistä ammunnoista, sekä käytetyistä aseista ja patruunamääristä, maaperältään pilaantuneista alueista ja tietoa kaatopaikalle viedystä jätteestä. Saarella puolustusvoimien toiminnan seurauksena maaperältään pilaantuneita alueita ovat kiväärirata, pistoolirata ja kaatopaikka.

Saaren kasarmi valmistui vuonna 1968. Ennen uutta kasarmia vuosittain saapumiserässä oli 70 varusmiestä. Uuden kasarmin valmistuttua saapumiserässä oli noin 100 varusmiestä ja eriä oli 2 - 3 vuodessa. Kunkin varusmiehen patruunakiintiö oli noin 150 rk-patruunaa. Kuuskajaskarissa varusmiesten koulutussuunnitelmaan kuului pääasiassa peruskoulutuskaudella kiväärikaliiberin aseet ja erikoiskoulutuskaudella tykistöaseet ja krh, kv ja raskas. Peruskoulutuskaudella varusmiesten koulutusohjelmaan kuului 5 rynnäkkökivääriammuntaa, lisäksi mahdolliset uusinnat. Vuosittaista ampumatarvikekiintiötä ei saanut ylittää. Kukin ammunta sisälsi 5 koelaukausta ja 10 kilpailulaukausta eli yhteensä 15 laukausta.

Puolustusvoimien laukausmäärältään eniten käytetty ase on rynnäkkökivääri, jolla ammutaan 150 tai 300 metrin radoilla. Rynnäkkökiväärin kaliiberi on 7.62 x 39. Toinen puolustusvoimien käyttämä kiväärityyppi on 7.62 x 53R-kaliiperinen sotilaskivääri. Pistooleista 9.00 mm sotilaspistoolilla ammutaan eniten. Pistooliampumaradoilla ampumamatkat ovat yleensä 25 ja 50 metriä. (Ampumaratojen ympäristölupa...2012, 14) Rynnäkkökivääri tuli rannikotykistössä palvelusaseeksi vasta noin vuosina 1978 - 80. Sitä ennen käytettiin ammunnoissa kivääriä 39 eli 762x 53 R patruunaa ampuvaa, jolla luodin paino on noin 10 g.

Puolustusvoimat käyttää kivääreissä ja pistooleissa lähes yksinomaan vaipallisia luoteja. Nykyisin luotivaippa on valmistettu kuparin (90 - 95 %) ja sinkin (5-10 %) messin-

kiseoksesta (tompakki). Luotiydin koostuu pääasiassa lyijystä (97 - 99 %) ja pienestä määrästä antimonia (1 - 3 %). Luodin kokonaismassasta on lyijyä noin 89 % ja noin 9 % kuparia. Antimonia ja sinkkiä on molempia noin 1 %. Vielä sotien jälkeen käytettiin luoteja, joiden vaippa oli nikkeliä. Näiden käyttö loppui 1950-luvulla. Yleisimmät kivääriammunnassa käytettyjen luotien painot vaihtelevat välillä 2,9 g ja 18,5 g. Pistooliluotien paino on 2,9 - 15,6 g. (Ampumaratojen ympäristölupa...2012, 14)

Haastateltujen mukaan Kuuskajaskarin rannikkotyöstön linnakesaaren maaperään ovat vaikuttaneet lähinnä käsiaseammunnat. Käsiaseammunnat ammuttiin koulutusammuntojen osalta vain ampumaradalle hiekkapenkkaan. Taisteluammuntoja ammuttiin talvisin jälle ja kesäisin käytiin muualla ampumassa. Käsiaseiden ammunnoissa on käytetty myös valokuova patruunoita, sekä mereen että suojavalleihin. Harjoitusammuntoja on suoritettu seuraavilla käsiaseilla:

- 9mm pistooli
- 762 rk
- kvkk
- kk
- 12,7 Itkk

Raskaammalla kalustolla ammuttiin ympäröivälle vesialueelle muun muassa seuraavilla aseilla:

- 4 kappaletta 152/50T rannikkotykkiä
- kvsinko
- kertasinko
- 81 kvkrh
- 23 Itk
- 76.Itk
- 88 Itk

Osa isompien aseiden meriammunnoista on ammuttu räjähtämättömänä ilman sytytintä. Maaperään on mahdollisesti jäänyt pieniä jäämiä tulenkuvauskentistä ja savuista. Polttotaisteluradalla voi olla jäämiä napalmista.

Kuuskajaskarin kiväärirata valmistui 60-luvun puolivälissä ja se sisälsi 150 ja 300 metrin ampumapaikat, näyttösuojan ja sen takana olevan luotivallin. Käsiaseammunnat



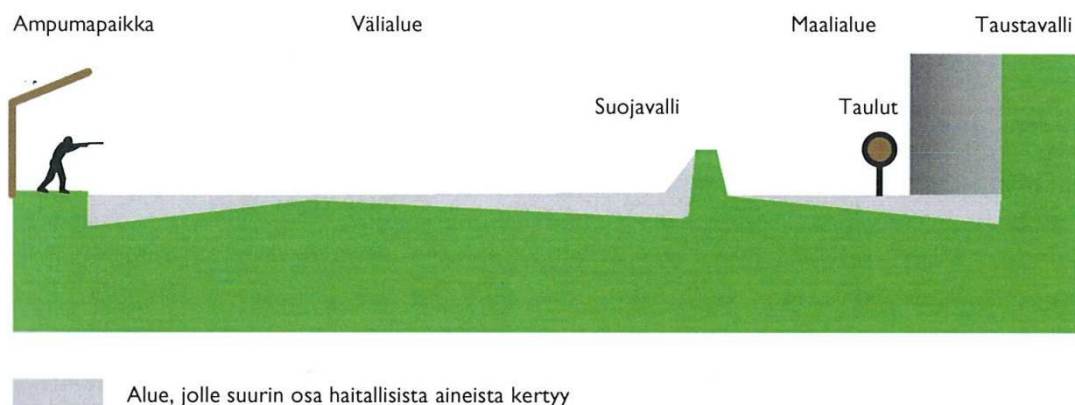
ammuttiin koulutusammuntojen osalta vain ampumaradalle hiekkapenkkaan. Luotiloukkuja ei tunnettu.

Kuuskajaskarin pohjoisosassa olevasta kaatopaikasta vastasi Puolustushallinnon rakennuslaitos, joka toimitti sinne jätteet, joita ei viety pois saaresta. Ennen uuden kasarmin valmistumista kaatopaikalle on viety muun muassa käymälöistä tullutta jätettä, talousjätettä, sekä rakennusjätettä. Polttolaitoksen valmistuttua talousjäte poltettiin.

### 6.3. Kuuskajaskarin raskasmetalleilla pilaantuneet alueet

#### 6.3.1 Kivääri- ja pistoolirata

Ampumaratojen voidaan katsoa koostuvan kolmesta rakenteellisesta osa-alueesta, joita ovat ampumapaikka, välialue ja maalialue (taustavalli). Kivääri- ja pistooliradalla ammuttaessa suurin osa luotijätteestä kerääntyy radan taustavalliin, jossa maalitaulut sijaitsevat. Osa luotijätteestä kertyy välialueen pintamaahan. Ampumapaikan lähellä kuormitus on lähinnä laukaustapahtumassa irtoavaa hienojakoista pölyä. (Ampumaratojen ympäristölupa...2012, 14)

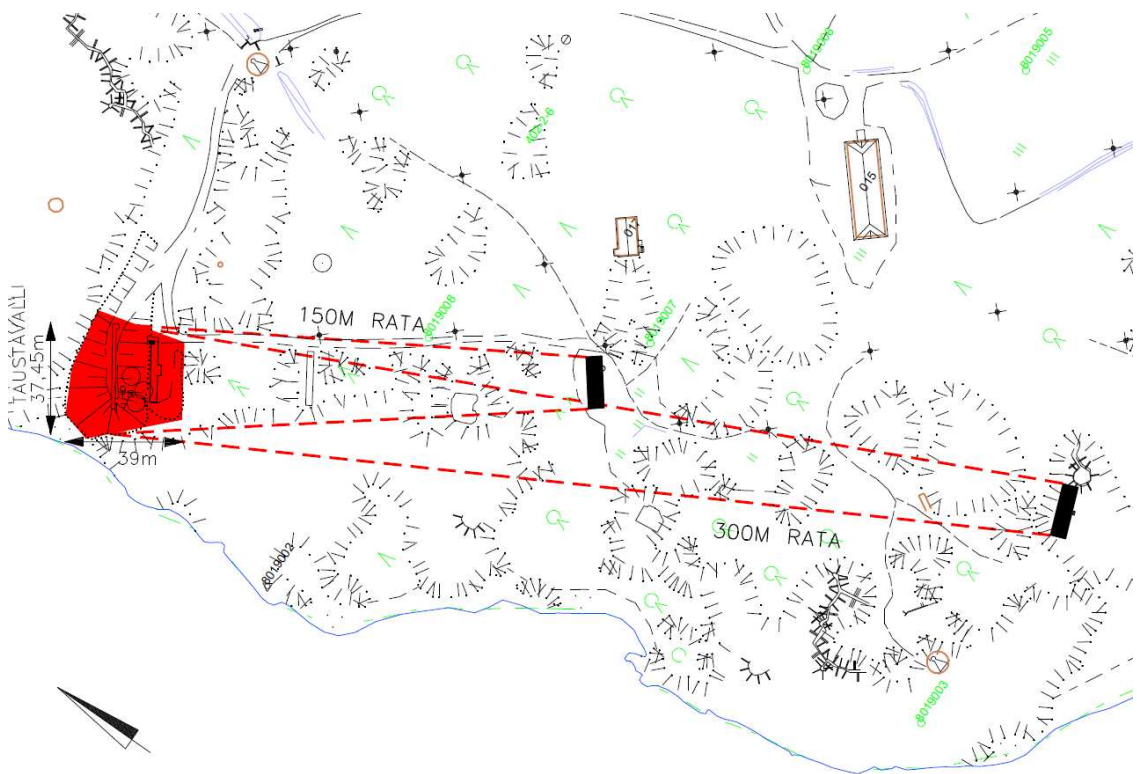


KUVA 10. Periaatepiirros maaperän metallikuormituksesta kivääriradoilla (Ampumaratojen ympäristölupa...2012, 23)

Koska suurin osa luotijätteestä kertyy radan taustavalliin, on tässä työssä keskitytty Kuuskajaskarin ampumaratojen osalta taustavallien pilaantuneisuuden selvittämiseen ja

kunnostamiseen. Saarella suoritettut kenttätutkimukset ovat myös keskittyneet lähinnä ampumaratojen taustavalleihin ja kaatopaikalle.

Kiväärirata sijaitsee Kuuskajaskarin saaren länsipuolella, kallioisella rannalla. Kivääriradalla on sekä 150 metrin että 300 metrin radat, 10-paikkainen katos ja taustavalli. Taustavalli (liite 2) on rakennettu kallion päälle kivennäismaasta ja autonrenkaista. Vallin pinnassa on hiekkaa ja paikoin luoteja näkyvissä. Vallin päällä on puusta rakennettu suoja-aita, taustapuolella ja sivuilla kasvaa mäntyä ja muuta pensaikkoa. Taustavallin edessä on pienempi kivennäismaasta rakennettu etuvalli. Etuvallin ja taustavallin välissä on betoninen näyttösuoja. Kivääriradan välialue on pääasiassa kalliota, jossa kasvaa katajaa, kanervaa ja heinäkasvillisuutta.



KUVA 11. Kuuskajaskarin kiväärirata.

Kuuskajaskarin kivääriradan taustavalli (Liite 3) on 6,7 metriä korkea ja 42 metriä leveä, maa-ainesta on arviolta 2760 m<sup>3</sup> ktr. Valli on rakennettu kallion päälle noin 20 metrin päähän merenrannasta. Pintavedet valuvat vallista ja alueelta mereen.

Kivääriradan taustavallin raskasmetallimääristä voidaan esittää karkea arvio edellä kerrotun saaren toimintahistorian ja julkaisun ”Ampumaratojen ympäristölupa, 2012. Opas toiminnanharjoittajille sekä lupa- ja valvontaviranomaisille” perusteella.

Kivääriradan taustavalliin on kerääntynyt luotijätettä ja raskasmetalleja 32 vuoden (käytössä vuosina 1965 – 1997) ajan.



KUVA 12. Kivääriradan taustavalli Kuuskajaskarissa. (kuva, Minna Kouva)

Uuden kasarmin valmistuttua saapumiserässä oli noin 100 varusmiestä ja eriä oli 2 - 3 vuodessa. Keskimäärin varusmiehiä oli siten vuosittain 250 henkeä.

Kunkin varusmiehen patruunakiintiö oli noin 150 rk-patruunaa. Vuosittain rynnäkkökiväärin patruunoita on siis varattu 37 500 kpl.

Rynnäkkökivääreissä on käytetty 7,62 kaliiberin lyijyluoteja. Yksittäisen lyijyluodin paino on 8 grammaa. Lyijyluodin kokonaismassasta lyijyä on noin 89 %, noin 9 % kuparia, sekä 1 % antimonia ja sinkkiä.

Koko kivääriradan 32 vuoden käyttöaikana rk-patruunoita on edellä kerrotun perusteella ammuttu taustavalliin:

- 32vuotta x 37 500 patruunaa = 1 200 000 patruunaa

Luodin paino on 8 g, joten luoteja on 32 vuoden aikana ammuttu yhteensä:

- 1 200 000 x 0,008 kg = 9 600 kg



Josta eri raskasmetallien osuudet:

- Lyijyä:  $0,89 \times 9\,600 \text{ kg} = 8\,544 \text{ kg}$
- Kuparia:  $0,09 \times 9\,600 \text{ kg} = 864 \text{ kg}$
- Antimonia ja sinkkiä:  $0,01 \times 9\,600 \text{ kg} = 96 \text{ kg}$

Laskelma havainnollistaa mahdollisen raskasmetallin määrää taustavallissa, mikä on aiheutunut puolustusvoimien ampumatoiminnasta. Tosin on huomioitava, että luodin materiaalitiedot perustuvat puolustusvoimien nykyisin käytössä olevaan luotityyppiin. Kivääriradan taustavallin käyttöaikana 1965 – 1997 on voinut olla käytössä erilaisia luotityyppejä ja eri materiaaleista (raskasmetalleista) tehtyjä. Saarella suoritettujen näytteenottojen (luku 6.3) perusteella ei kivääriradan taustavallista löytynyt sinkkiä eikä antimonia kynnysarvon ylittävää määrää, joten näitä ei laskelman perusteella voida huomioida. Myös tiedot Kuuskajaskarin varusmiesmääristä ja rk-patruunoiden kiintiömääristä ovat muistinvaraisia arvioita eivätkä perustu tilastoituun tietoon. Lisäksi osa kunkin varusmiehen patruunakiintiöstä on ammuttu muualla kuin Kuuskajaskarissa.

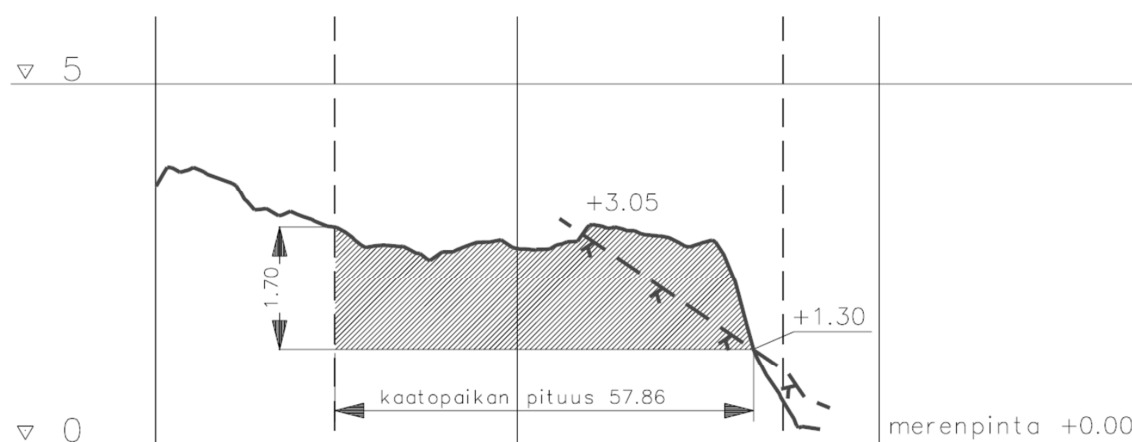
25-metrin pistoolirata sijaitsee saaren pohjoiskärjessä kallioisella alueella ja rannan läheisyydessä. Radalla on ampumakatos ja maavalli (liite 4). Radan taustavallista on merenrantaan matkaa 35 metriä. Taustavalli on kooltaan 20 x 37 metriä ja 3,5 metriä korkea. Taustavallissa on maa-ainesta 900 m<sup>3</sup>tr. Valli on ruohottunut ja täyteenä on käytetty soraa, multaa ja autonrenkaita (Hietalahti, Hovi, 57). Pistooliradan itäpuolella sijaitsee kaatopaikka.



KUVA 13. Pistooliradan ja kaatopaikan alue.

### 6.3.2 Kaatopaikka

Kaatopaikka sijaitsee saaren pohjoiskärjessä. Jätettä on läjitetty lähelle rantaa (Liite 5). Kaatopaikka on kooltaan 2950 m<sup>2</sup>. Täyttöä on maksimissaan 1,7 metriä. Kaatopaikalle on vuosien 1971 - 1995 välisenä aikana viety jätteenä metalliromua, rakennusjätettä, akkuja, sähkökaapelia ja muita yleisesti syntyviä jätteitä (Hietalahti, Hovi, 2002). Osa jätteestä on poltettu kaatopaikan viereisessä polttouunissa ja syntynyt tuhka on levitetty muun kaatopaikkajätteen joukkoon. Kaatopaikan rakenne on hyvin tiivis ja sen pohja on louhikkoinen täyttömaan ja jätteiden alla (Hietalahti, Hovi, 2002). Kaatopaikalla syntyvät pintavedet valuvat mereen, johon kaatopaikalta on suora yhteys.



KUVA 14. Kuuskajaskarin kaatopaikan arvioitu täytön paksuus.

### 6.3.3 Ampumaratojen raskasmetallit ja niiden vaikutus ympäristöön

Puolustusvoimat on teettänyt vuonna 2005 ampumaratojen raskasmetalleja koskevan leviämisselvityksen yhdeksälle ampumarata-alueelle. Tämän mukaan ampumaradoilla suurin osa pilaantuneesta maa-aineksesta on keskittynyt ratojen taustavalliin, iskemäkohtiin ja niiden läheisyyteen. Massamäärältään suurin osa lyijystä on taustavallissa. Rakennetussa taustavallissa pilaantumista ei ole todettu vallin takana. (Suomen ympäristö 38, 47) Myös Ylitornion Reväsvaaran Rajavartiolaitoksen vanhalla käytöstä poistetulla ampumaradalla on selvitetty taustavallin iskemäkohtien lyijyn aiheuttamaa pilaantuneisuutta ja pilaantuneen kerroksen paksuutta. Tutkimusten mukaan lyijypitoisuudet lähentelivät nollaa 30 - 50 cm:n syvyydestä otetuissa näytteissä. Taustavallin pilaantunut maakerros oli paksuudeltaan noin 15 - 20 cm. Kunnostusmenetelmäksi kohteessa

esitettiin pintamaan poistoa kuorimalla kauttaaltaan noin 30 cm:n paksuinen kerros. (Lapin elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus 2013, 3 - 4)

Osueissaan taustavallin iskemäkohtaan luodit hajoavat osittain ja lyijy altistuu sadeveden vaikutukselle. Maaperän happamuus vaikuttaa lyijyn liukenemiseen. Neutraalissa maassa, kuten hiekkamailla, lyijyn liukeneminen on vähäistä, mutta happamissa olosuhteissa, kuten soilla liukoisuus moninkertaistuu. Kuparin käyttäytyminen vastaa lyijyä, mutta antimonin liukoisuus lisääntyy, jos pH nousee liian korkeaksi. Ampumaratojen metallien liukoisuus on vähäisintä pH:n ollessa 6 - 10. (Suomen ympäristö 23/2012, 25)

Luotijätteet muodostavat ampumaradan rakenteisiin varaston, josta rapautumisen myötä vapautuu haitallisia aineita. Ympäristön olosuhteet määräävät sen kuinka nopeasti haitta-aineet kulkeutuvat ympäristössä. Sade- ja sulamisvesien mukana kulkeutuessaan haitta-aineet saattavat vaarantaa esimerkiksi pintavesien laadun. Maaperän korkeat haitta-ainepitoisuudet ovat usein myös este alueen tulevalle maankäytölle. Ekologiset haitta-vaikutukset ovat yleensä paikallisia ja kohdistuvat rata-alueen kasveihin ja maaperäeliöihin. Laaja-alaiset vaikutukset ovat mahdollisia, mikäli haitalliset aineet pääsevät kulkeutumaan vesistöön. (Suomen ympäristö 23/2012, 23)

Luodit koostuvat pääasiassa lyijy-ytimeistä sekä kuparia ja sinkkiä sisältävästä vaipasta. Lyijyn seosaineena on vähäinen määrä antimonin ja aiemmin luodeissa käytettiin myös nikkeliä. Näiden aineiden haitalliset vaikutukset eliöille riippuvat maaperäolosuhteiden lisäksi lähinnä altistuvista eliölajeista, haitta-aineiden biosaatavuudesta, altistuksen määrästä (määrä, toistuvuus, kesto) ja tavasta (hengitys, ihokosketus, syöminen). (Suomen ympäristö 23/2012, 24)

Lyijyä voidaan pitää ampumaradoilla merkittävänä haitta-aineena. Se aiheuttaa jo hyvin pieninä pitoisuuksina haitallisia vaikutuksia niin eliöihin kuin kasveihin mm. lisääntymisen ja kasvun heikentymisenä. Lisäksi lyijy on ravintoketjussa kertyvää. Vaikutukset altistuvilla ihmisillä voivat ilmetä muutoksina esim. keskushermostossa, munuaisissa ja luustossa. Erityisen myrkyllistä lyijy on lapsille. (Suomen ympäristö 23/2012, 24)

Myös muut luotien sisältämät haitta-aineet saattavat aiheuttaa ympäristöongelmia. Ne voivat kulkeutua lyijyä helpommin syvempiin maakerroksiin ja sieltä edelleen pohjave-

teen tai pintavalunnan mukana vesistöihin. Lisäksi mm. antimoni on arvioitu myrkyllisemmäksi ihmiselle ja kupari vesieliöille kuin lyijy. (Suomen ympäristö 23/2012, 24).

#### **6.4. Alueella suoritettut haitta-ainetutkimukset**

##### **6.4.1 Kenttätutkimukset 2001**

Jaana Hietalahti ja Minna Hovi ovat kartoittaneet Kuuskajaskarin maaperän pilaantuneisuutta ja tehneet tästä opinnäytetyön ”Pilaantuneen maaperän kartoitus, analysointi ja kunnostus” vuonna 2002 Rauman kaupungin ympäristöviraston toimesta. He suorittivat Kuuskajaskarissa näytteenottoja pilaantuneilta alueilta vuonna 2001. Kenttämittauksia tehtiin kivääri- ja pistooliradan taustavalleista, sekä kaatopaikalta. (Hietalahti & Hovi 2002)

Alueilta tutkittiin seuraavien haitta-aineiden pitoisuuksia mg/kg maaperässä: rauta (Fe), koboltti (Co), kadmium (Cd), kupari (Cu), nikkeli (Ni), lyijy (Pb) ja sinkki (Zn). Näytteenotto laadittiin niin, että kullekin alueelle määritettiin alueen koon perusteella näytteenottopisteet, joista tehtiin analyysia varten kokoomanäytteitä. Kaatopaikalta määritettiin 20 näytteenottopistettä (4 kpl kokoomanäytteitä), jotka itse asiassa olivat myös näytteenottokuoppia. Pistooliradan suojavallista otettiin 14 (3 kpl kokoomanäytteitä) ja kivääriradan suojavallista 13 (3 kpl kokoomanäytteitä) näytteenottopistettä. Ampumareitojen suojavalleista näytteitä otettiin 30 cm:n syvyydestä ja kaatopaikalla 0,50 - 2,00 m:n syvyydestä. (Hietalahti ja Hovi 2002, 56, 58)

Näytteenottovälineinä he käyttivät lapiota ja pistokairaa, syvemmille (2 m) näytteille kierrekairaa. Näyteastioina käytettiin elintarvikemuovisia pusseja. Näytteenottopisteiden koordinaatit mitattiin laitteella GPS GARMIN 12. Koordinaattijärjestelmä oli tuolloin YKJ. Koordinaatit on muunnettu tätä opinnäytetyötä varten nykyiseen Rauman kaupungin käyttämään järjestelmään ETRS-GK22. (Hietalahti ja Hovi 2002, 56)

Kaikki näytteet analysoitiin Satakunnan ammattikorkeakoulun tekniikan Porin yksikön kemianlaboratoriossa. Näytteenottojen analyysit tehtiin näytepisteistä yhdistetyistä kokoomanäytteistä. (Hietalahti ja Hovi 2002, 59)

### 6.4.2 Tulokset

Hietalahti ja Hovi (2002) olivat laatineet analyysitulokset kullekin kokoomanäytteelle ja tutkittavalle raskasmetallille ja verranneet tuloksia SAMASE -raportin ohjearvoihin. Ennen vuotta 2007 maa-alueiden pilaantuneisuuden arviointiin käytettiin vuonna 1994 julkaistun ympäristöministeriön ympäristönsuojeluosaston muistiossa (5/1994) olevia SAMASE -ohje- ja raja-arvoja. Tässä opinnäytetyössä analyysituloksia on haluttu vertailla nykyisin käytössä oleviin Valtioneuvoston asetuksessa 214/2007 määritettyihin kynnys- ja ohjearvoihin ja selvittää tämän avulla alueiden pilaantuneisuutta.

Analyysituloksista laadittiin taulukko (liite 6), jossa on eritelty raskasmetallipitoisuudet kutakin kokoomanäytettä kohden ja verrattu pitoisuuksia Vn 214/2007 määritettyihin kynnys- ja ohjearvoihin. Taulukon mukaan tutkituilla alueilla haitta-ainepitoisuudet ovat seuraavanlaiset:

- Kivääriradan taustavalli:
  - ylempi ohjearvo ylittyy seuraavilla haitta-aineilla: lyijy (9998 mg/kg) ja kupari (673 mg/kg)
  - koboltia yli kynnysarvon
  - raudan pitoisuus 3151 mg/kg ylittää ”puhtaan maan” arvon 2903 mg/kg
- Pistooliradan taustavalli:
  - ylempi ohjearvo ylittyy seuraavilla haitta-aineilla: lyijy (3043 mg/kg) ja kupari (372 mg/kg)
  - sinkkiä yli kynnysarvon
  - raudan pitoisuus 3251 mg/kg ylittää ”puhtaan maan” arvon 2903 mg/kg
- Kaatopaikka:
  - ylempi ohjearvo ylittyy seuraavilla haitta-aineilla: lyijy (1883 mg/kg), sinkki (1333 mg/kg) ja kupari (315 mg/kg)
  - raudan pitoisuus 4153 mg/kg ylittää ”puhtaan maan” arvon 2903 mg/kg
  - koboltia ja nikkeliä yli kynnysarvon

Näytteenottotuloksia arvioitaessa täytyy huomioida, että analyysit on tehty kokoomanäytteistä. Kokoomanäytteessä yhdistetään useita näytteitä, useimmiten sellaisia näytteitä, joiden pilaantuneisuus oletetaan samankaltaiseksi ja mittaustulos kuvaa näiden näyt-

teiden keskimääräistä pitoisuutta. Kokoomanäytteitä tehdään yleensä silloin, kun alustavasti halutaan selvittää alueiden pilaantuneisuus tai halutaan kohdentaa näytteenottoa tarkemmin. (Ympäristöministeriö 2007, 154) Ampumaratojen taustavallien kokoomanäytteiden tulosten perusteella voidaan sanoa, että valleissa on voimakkaasti raskasmetalleilla pilaantunutta maata. Kokoomanäytteiden tulosten perusteella myös kaatopaikalla on voimakkaasti metalleilla pilaantuneita maita. Toisaalta, koska analyysit on tehty kokoomanäytteistä, on mahdotonta sanoa, onko kaatopaikalla erotettavissa selkeästi pilaantuneempia ja vähemmän pilaantuneita alueita. Yksittäisten näytteenottopisteiden pitoisuustietojen perusteella olisi pystynyt arvioimaan tarkemmin pilaantuneen maan määrää.

Liitteessä 7 on taulukoitu Hietalahden ja Hovin (2002) tekemät koekuoppahavainnot kaatopaikka-alueelta. Maaperä koostui koekuoppien perusteella eri täyttökerroksista. Koekuopista havaittiin, että täyttökerroksissa on yhdyskunta- ja rakennusjätettä, kaapelialia, lasia, metallia ynnä muuta.

Hietalahden ja Hovin (2002) opinnäytetyössä ei ollut esitetty näytteenottopisteiden paikkoja karttamuodossa, eikä ampumaratojen näytteenottopisteiden koordinaatteja. Taustavalleista otetuista näytteistä oli annettu koordinaatit vain kokoomanäytteistä. Kaatopaikan osalta yksittäisten näytepisteiden koordinaatit ja koekuoppahavainnot oli kuitenkin kerrottu. Tässä työssä kokoomanäytepisteet ja kaatopaikan yksittäiset näytepisteet on esitetty karttamuodossa liitteessä 8. Kartta havainnollistaa näytepisteiden sijaintia ja haitta-aineiden esiintymistä kohteissa.

#### **6.4.3 Haitta-aineiden kokonaismäärä**

Edellä on kappaleessa 6.3.3 todettu, että suurin osa ampumaratojen pilaantuneesta maa-aineksesta on keskittynyt ratojen taustavalliin, erityisesti vallin etupuolelle iskemäkohtiin ja niiden läheisyyteen. Reväsvaaran ampumaradalla kunnostusmenetelmäksi esitettiin pintamaan poistoa kuorimalla kauttaaltaan noin 30 cm:n paksuinen kerros. Samaa menetelmää voisi ajatella käytettävän myös Kuuskajaskarin tapauksessa, jos haluttaisiin säilyttää ampumaratojen taustavallit. Oletetaan, että haitta-aineita ei ole taustavallissa 0,5 metriä syvemmällä. Kuoritaan taustavallin etupuolelta 0,5 metrin paksuinen pilaan-

tunut pintamaakerros pois. Kivääriradan haitta-aineilla pilaantuneen taustavallin pintakerroksen tilavuus on tällöin:

$$35 \text{ m} \times 12 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} = 210 \text{ m}^3 \text{ ktr}$$

Taulukon 3 mukaan hiekkainen sora painaa  $2,20 \text{ tn/m}^3 \text{ ktr}$ , joten kertomalla tämä pintamaakerroksen tilavuudella, saadaan pilaantuneen maa-aineksen paino:

$$210 \text{ m}^3 \text{ ktr} \times 2,20 \text{ tn/m}^3 \text{ ktr} = 462 \text{ tn eli } 462000 \text{ kg}$$

josta eri haitta-aineiden määrät maanäytteiden analyysitulosten perusteella ovat:

- Pb (9998 mg/kg),  $0,009998 \text{ kg} \times 462\,000 \text{ kg} = 4\,619 \text{ kg}$
- Cu (673 mg/kg),  $0,000673 \text{ kg} \times 462\,000 \text{ kg} = 311 \text{ kg}$
- Co (24 mg/kg),  $0,000024 \text{ kg} \times 462\,000 \text{ kg} = 11 \text{ kg}$

Taulukko 3. Tilavuus- ja painoyksiköiden väliset muuntokertoimet (Kunnallisteknisten töiden yleinen työselitys ja laatuvaatimukset KT 97)

Rakenne	Maalajit	Leikkauksesta kuljetusvälineeseen ( $\text{m}^3 \text{ ktr} \rightarrow \text{tn}$ )	Kuljetusvälineestä rakenteeseen ( $\text{tn} \rightarrow \text{m}^3 \text{ rtr}$ )	Kuljetusvälineessä ( $\text{tn} \rightarrow \text{m}^3 \text{ itd}$ )
Penger	Sa	2,50	-	0,65
	Si	2,30	0,40	0,60
	HHk	1,90	0,50	0,70
	Hk	1,80	0,50	0,70
	srHk	1,95	0,45	0,65
	hkSr	2,20	0,40	0,60
	Sr	2,20	0,40	0,60
	Mr	2,55	0,40	0,60
	HkMr	2,30	0,40	0,60
Suodatin	Hk	1,80	0,45	0,70
Jakava	Sr	2,20	0,40	0,60
	M	-	0,40	0,60
Kantava	Sr	2,20	0,40	0,60
	M	-	0,40	0,60

Pistooliradan haitta-aineilla pilaantuneen taustavallin pintakerroksen tilavuus on:

$$20 \text{ m} \times 10 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} = 100 \text{ m}^3 \text{ ktr}$$

Hiekkainen sora painaa  $2,20 \text{ tn/m}^3 \text{ ktr}$ , joten kertomalla tämä pintakerroksen tilavuudella, saadaan:

$$100 \text{ m}^3 \text{ ktr} \times 2,20 \text{ tn/m}^3 \text{ ktr} = 220 \text{ tn eli } 220000 \text{ kg}$$

josta eri haitta-aineiden määrät maanäytteiden analyysitulosten perusteella ovat:

- Pb (3043 mg/kg),  $0,003043 \text{ kg} \times 220\,000 \text{ kg} = 669 \text{ kg}$
- Cu (372 mg/kg),  $0,000372 \text{ kg} \times 220\,000 \text{ kg} = 82 \text{ kg}$

Kaatopaikan pilaantuneiden maiden haitta-ainemääriä on vaikea arvioida, koska näytepisteitä ei ole otettu säännönmukaisesti. Lisäksi pilaantuneen maan paksuudesta ei ole tarkkaa tietoa. Karkeasti kantakartasta ja paikan päällä silmämääräisten havaintojen perusteella arvioiden kaatopaikan pinta-ala on  $2950 \text{ m}^2$ . Jos oletetaan kaatopaikkakerroksen ja pilaantuneen maan paksuudeksi 1,0 m, on pilaantunutta maa-ainesta tällöin  $2950 \text{ m}^3$  ktr. Käytetään samaa hiekkaisen soran kerrointa 2,2, jolloin saadaan kaatopaikan pilaantuneiden maiden painoksi 6490 tn.

#### 6.4.4 Lisätutkimusten tarve

Kuuskajaskarin aikaisemmat kenttätutkimukset ovat vuodelta 2001. Mikäli ampumaratojen taustavallit suunniteltaisiin puhdistettavan pintakerrosta poistamalla niin sanotulta luodin iskemäsyvyydeltä, olisi hyvä teettää vallin etupuolelta lisätutkimuksia. Lisätutkimusten avulla voidaan selvittää pilaantuneen kerroksen paksuus tarkasti, jolloin käsiteltävän maamassan määrä pienenesi huomattavasti. Lisäksi pintakerroksesta olisi hyvä teettää haitta-aineiden liukoisuustestit maa-aineksen kaatopaikkakelpoisuuden selvittämistä varten. Tämän perusteella voidaan arvioida maa-aineksen käsittely- ja vastaanottopaikka.

2001 vuoden kenttätutkimuksissa ei ollut selvitetty öljyhiilivetyjä ampumaradoilta tai kaatopaikalta. Oletettavasti ampumaratojen taustavallit eivät ole öljyhiilivedyillä pilaantuneita, vaan lähinnä raskasmetalleilla. Kaatopaikalla olisi hyvä teettää lisätutkimuksia sekä alueen pilaantuneisuuden (laajuus, syvyys) tarkentamiseksi että öljyhiilivetyjen selvittämiseksi. Tämän perusteella olisi helpompi arvioida pilaantuneen maan määrää. Lisäksi tulisi ottaa haitta-aineiden liukoisuustestit maa-aineksen kaatopaikkakelpoisuuden selvittämistä varten.



## 6.5. Kunnostustarve ja tavoitteet

Kenttätutkimusten perusteella Kuuskajaskarin saaressa on raskasmetalleilla, erityisesti lyijyllä ja kuparilla voimakkaasti pilaantuneita maita kivääri- ja pistooliradalla, sekä kaatopaikalla. Lisäksi kaatopaikalla on todettu sinkillä voimakkaasti pilaantunutta maata (ylempi ohjearvo ylittyy).

Raskasmetallien kulkeutumista ympäristöön ei ole erityisesti selvitetty. Ampumaradoilla voidaan olettaa, että haitta-aineista suurin osa on kertynyt taustavalliin. Ampumaratojen taustavallit sijaitsevat meren välittömässä läheisyydessä, samoin kaatopaikka, joten on teoriassa mahdollista, että haitta-aineita on päässyt pintavesien mukana mereen. Tosin raskasmetallit eivät kovin helposti liukene neutraalissa maaperässä, kuten hiekka- maassa, tai pH:n ollessa 6 - 10. Muita haitta-aineiden leviämisreittejä ei ole olemassa, koska maasto viettää kohteissa voimakkaasti meren suuntaan ja pohjamaa on kalliota.

Kulkua näille kyseisille alueille ei ole mitenkään rajoitettu; alueille on siis vapaa pääsy kaikilla saaressa liikkuvilla. On siis mahdollista, että saaressa kulkeva pääsee kosketuksiin pilaantuneen maan kanssa, esimerkiksi lapsi voi laittaa pilaantunutta maata suuhun. Ravintokasvien keräämistä ei ole myöskään mitenkään rajoitettu, saarella voi vapaasti marjastaa ja sienestää. Raskasmetalleja voi kerääntyä kasveihin, esimerkiksi lyijyä puolukkaan. Teoriassa on siis olemassa riski, että ihmiset pääsevät kosketuksiin pilaantuneen maan kanssa.

Kaavaluonnoksessa (liite 1) sekä kivääri- ja pistoolirata että kaatopaikka on osoitettu Selkämeren kansallispuiston suojelualueeseen kuuluvaksi. Kivääriradan kohdalla on kaavaluonnoksessa merkintä luo/ma, joka tarkoittaa että alue on luonnon monimuotoisuuden kannalta ja maisemallisesti tärkeä säilytettävä alue. Kuuskajaskarista tehdyn maisemaselvityksen mukaan ehdottomasti säilytettävä alue on länsirannan kallioalue ja puolustusympäristö, johon kuuluvat ampumasektorit ja -radat, vallit, juoksuhaudat ja muut sellaiset rakenteet (Hannula & Kaituri 2011). Alueelta on tehty myös luontoselvitys, jonka mukaan kivääriradan alueella ei ole erityisiä luontoarvoja tai lakien mukaan suojeltavia luontotyypppejä (Ahlman konsultointi ja suunnittelu 2011).

Ympäristöhallinnon oppaan ”Maaperän ja pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointi” mukaan perusarviointi ja siihen liittyvä haitta-ainepitoisuuksien ohjearvovertailu

ei yksinään riitä pilaantuneisuuden arvioinnin perusteeksi, mikäli ”kohteella tai sen lähiympäristöllä on erityinen suojeluarvo (esim. luonnonsuojelualue tai alue, jolla on uhanalaisia kasveja tai eläimiä)”. Kun kohteella ja sen lähiympäristöllä on erityinen suojeluarvo, tulisi tarkastella ekologista riskiä ja sen vaikutusta suojeluarvoon. (Ympäristöministeriö 2007, 44) Kuuskajaskarin tapauksessa kyse on enemmänkin kulttuuriympäristön säilyttämisestä kuin luontoarvojen suojelemisesta.

Jos perusarviointi ei riitä, on siirryttävä pilaantuneisuuden tarkennettuun arviointiin, missä keskitytään riskien tarkasteluun. Riskitarkastelussa tutkitaan muun muassa haitta-aineiden kulkeutumista, mahdollisia altistumisreittejä ja altistujia. Toisaalta pilaantuneisuuden arviointi voidaan lopettaa, mikäli alue päädytään kunnostamaan tai haitallisia aineita sisältävät maa-ainekset kaivetaan pois. Tällöin tulee kuitenkin osoittaa, että maaperään kunnostamisen jälkeen mahdollisesti jäävistä haitta-aineista aiheutuvat riskit ovat hyväksyttävällä tasolla. (Ympäristöministeriö 2007, 23, 45 ja 50)

Lainsäädännössä tai ohjeissa ei ole määritelty yleisesti hyväksyttävää pitoisuustasoa tai jäännöspitoisuutta koskien suojelualueilla olevien pilaantuneiden maiden kunnostusta, joten asia tulisi ratkaista tapauskohtaisen arvion perusteella. Laki ja ohjeistukset eivät siis vaadi esimerkiksi ohje- tai kynnsarvon alittumista, joten näiden pitoisuusrajojen perusteella ”pilaantuneeksi” arvioituja voidaan jättää alueelle, mikäli ne eivät aiheuta haittaa tai merkittävää riskiä alueen jatkokäytölle, luonnon monimuotoisuus ja maisema-arvot huomioiden. Maaperän pilaantuneisuus määräytyy lainsäädännön näkökulmasta aina haittojen tai riskien perustella. (Reinikainen 2014)

Edellä todetun perusteella Kuuskajaskarin pilaantuneet maat voidaan jättää kunnostamatta, mikäli ne eivät aiheuta haittaa tai merkittävää riskiä alueen jatkokäytölle. Tosin tämä edellyttää erillistä selvitystä pilaantuneisuuden tarkennetusta arvioinnista. Toinen vaihtoehto on kunnostaa pilaantuneet maat ja pyrkiä säilyttämään puolustusympäristön rakenteita. Pilaantuneiden maiden kunnostustavoitteena tulisi tällöin olla haitta-aineiden poistaminen maaperästä niin, että haitta-aineiden jäännöspitoisuudet ovat hyväksyttävällä tasolla.

## **6.6. Kunnostusmenetelmän valinta**

### **6.6.1 Valintaan vaikuttavat tekijät**

Kuuskajaskarin tapauksessa pilaantuneet maat sijaitsevat tulevalla suojelualueella, jolloin kunnostustavoitteena tulisi olla haitta-aineiden poistaminen maaperästä niin, että haitta-aineiden jäännöspitoisuudet ovat hyväksyttävällä tasolla. Teoriaosuudessa on käsitelty haitta-aineita poistavia ja haitta-aineiden leviämistä estäviä kunnostusmenetelmiä. Valittavan kunnostusmenetelmän tulisi olla haitta-aineita poistava. Kunnostusmenetelmän tulee soveltua metalleilla (lyijy, kupari, sinkki) pilaantuneen maan puhdistamiselle.

Taustavallien maa-aines on pääasiassa hiekkaa ja soraa; joukossa on myös autonrenkaita ja orgaanista ainesta. Kaatopaikan maa muodostuu jätetäytöstä, joten maa-aineksesta joudutaan seulomaan jätejakeita erilleen. Kivääriradan taustavalli tulee kaavaluonnoksen mukaan säilyttää maisemallisesti tärkeänä elementtinä, joten tulee miettiä sellaista kunnostusmenetelmää, jolla valli tulisi säilymään.

Koska pilaantuneet maat sijaitsevat saarella, asettaa tämä haasteita pilaantuneen maan kunnostamiselle. Joko pilaantunut maa käsitellään saarella tai kuljetetaan muualle käsiteltäväksi. Mikäli maa-ainesta lähdetään kuljettamaan mantereelle, vaatii tämä logistisesti ja aikataulullisesti hyvää suunnittelua, jotta työ voidaan suorittaa meren ollessa sulana, touko – lokakuun välisenä aikana. Mahdollisesti kulku saareen voisi tapahtua myös talvella, jos olisi pitempiaikainen pakkasjakso ja syntyisi riittävän paksu jääkansi. Talvitie olisi mahdollista ainoastaan Kuuskajaskarin ja Rauman Sataman välillä, koska saari jää kahden liikennöitävän laivaväylän väliin.

Luonnollisesti menetelmän valintaan vaikuttaa myös kunnostukseen liittyvät kustannukset. Koska kohde sijaitsee saarella, kunnostukseen liittyvää kalustoa joudutaan kuljettamaan mantereelta saarelle tähän tarkoitukseen sopivalla aluksella. Poikkeavat olosuhteet tuovat yleensä lisäkustannuksia.

### 6.6.1 Kunnostusmenetelmien soveltuvuus kohteeseen

Valitun kunnostusmenetelmän tulee olla haitta-aineita poistava, jollaisia ovat seuraavat menetelmät:

- elektrokineettinen menetelmä
- fytoimediaatio eli kasvien avulla tapahtuva kunnostaminen
- imurointi (luodit, haulit)
- kaivu ja kuljetus
- maanhuuhtelu
- maanpesu (märkäerottelu)
- seulonta
- terminen käsittely, tehopoltto

Elektrokineettinen menetelmä soveltuu lähinnä tiiviille savi- ja silttimaille, joiden läpäisevyys on alhainen. Kunnostettavat ampumaratojen taustavallit koostuvat pääasiassa kivennäismaalajeista, hiekasta ja sorasta, joten kyseinen menetelmä ei sovellu niille. Menetelmä ei sovellu myöskään jätetäytöstä koostuvalle kaatopaikalle.

Kasvien avulla tapahtuvaa kunnostus soveltuu parhaiten laaja-alaisille, lievästi pilaantuneille maille. Käsiteltävän maan pitää soveltua kasvin kasvualustaksi, eikä haitta-aineiden pitoisuudet saa olla kasville myrkyllisiä. Menetelmä ei sovellu Kuuskajaskarin voimakkaasti raskasmetalleilla pilaantuneille maille. Lisäksi kaatopaikka muodostuu jätetäytöstä, joten se ei sovellu kasvualustaksi. Menetelmän käsittelyaika on myös pitkä, joten jos pilaantunut maa-aines halutaan nopealla aikataululla kunnostaa, ei menetelmä sovellu kyseiseen tapaukseen.

Imuroimalla voidaan poistaa taustavallien ja ympäröivän kallioalueen pinnassa näkyviä luoteja. Imurointi on lähinnä apumenetelmä varsinaisen kunnostusmenetelmän ohessa, se ei siis yksinään ole riittävä kunnostusmenetelmä.

Jos halutaan varmistua siitä, että haitta-aineita ei jää maaperään, on pilaantuneen maa-aineksen kaivaminen pois kaikkein varmin menetelmä. Tällöin haitta-ainetta sisältävä maa-aines kuljetetaan muualle käsiteltäväksi. Kuljetuskustannukset ja pilaantunutta maa-ainesta vastaanottavan laitoksen käsittelymaksut muodostavat ison osan menetel-

män kustannuksista. Kuuskajaskarin tapauksessa merikuljetus tuo oman haasteensa maa-aineksen kuljetukseen.

Maanhuuhtelumenetelmä on Suomessa vielä tuntematon menetelmä. Menetelmässä maahan tai pohjaveteen johdetaan imeyttämällä tai injektoimalla vettä, jossa voi olla myös haitta-aineen liukoisuutta lisäävää ainetta. Pohjaveden pinnan noustessa pilaantuneeseen maakerrokseen haitta-aineet irtoavat pohjaveteen, joka johdetaan käsiteltäväksi erilliseen käsittelylaitokseen. Menetelmä soveltuu karkearakeisille maalajeille, erityisesti tasaisesti kerrostuneille hiekka-alueille. Menetelmä vaikuttaa kyseenalaiselta, koska maahan lisätään ”huuhteluainetta” liuottamaan haitta-aineita veteen. Menetelmä ei sovellu Kuuskajaskarin pilaantuneille maille, jotka sisältävät useita eri haitta-aineita ja erilaisia maa-aineksia, sekä jätejakeita.

Maanpesu voisi olla yksi vaihtoehto Kuuskajaskarin pilaantuneiden maiden käsittelyssä, koska menetelmä sopii karkeille maille (taustavallien karkearakeiset maat) ja raskasmetalleilla pilaantuneen maan käsittelyyn. Maanpesussa käytetään liikuteltavaa puhdistusyksikköä. Märkäeroteltu puhdas maa-aines voidaan käyttää kohteessa uudelleen. Esimerkiksi taustavallien hiekkainen maa voidaan palauttaa valliin pesukäsittelyn jälkeen. Vain ongelmamaat, joihin pilaantuminen on sitoutunut, täytyy sijoittaa kaatopaikalle tai käsitellä muutoin vaarattomiksi.

Maanpesu -menetelmässä on monia yksityiskohtia, jotka on mietittävä, jos menetelmää suunnitellaan käytettävän. Esimerkiksi maanpesussa käytetään vettä pilaantuneen maa-aineksen pesuun, joten riittävä vedensaanti on varmistettava. Kuuskajaskarin saareen on rakennettu vesijohto mantereelta. Maanpesuyksikön ympäristö on päällystettävä ja varmistettava, että pesuvettä ja siinä olevia jätejakeita ei pääse ympäröivään luontoon tai pintavesiin. Tulee miettiä myös, mihin maanpesun yhteydessä syntyvät jätejakeet varastoidaan, miten ne käsitellään vai kuljetetaanko käsittelylaitokseen.

Seulonta soveltuisi esimerkiksi ampumavallien luotien erotteluun, mikäli luotijäte halutaan kerätä talteen ja kierrättää uudelleen. Ekokem Oy:llä on käytössä siirrettävä seulontajärjestelmä. Menetelmällä ei saada pilaantunutta maata kokonaan puhdistettua, joten se ei ole varsinainen puhdistusmenetelmä.

Tehopoltto tapahtuu erillisessä käsittelylaitoksessa. Ekokem Oy:llä on käytössä kyseinen polttomenetelmä. Tehopoltto (yli 1300 °C) soveltuu vaikeasti pilaantuneille maille sekä epäorgaanisilla että orgaanisilla haitta-aineilla pilaantuneille maille. Menetelmän kustannukset muodostuvat pilaantuneiden maiden kaivusta, kuljetuksesta käsittelylaitokseen ja maa-aineksen vastaanottomaksuista.

### **6.6.1 Valittu kunnostusmenetelmä**

Kohteeseen sopivia kunnostusmenetelmiä ovat siis kaivu ja kuljetus, imurointi, maanpesu, seulonta ja tehopoltto. Tehopolttoon liittyy kaivu ja kuljetus, koska maa-ainekset kaivetaan ja kuljetetaan pilaantuneiden maiden tehopolttoa suorittavaan käsittelylaitokseen. Myös imurointi ja seulonta voivat tukea kaivutöissä luotijätteen erottelua maa-aineksesta. Maanpesulla kaivetusta pilaantuneesta maa-aineksesta saadaan puhdasta maata uudelleen käytettäväksi.

Kunnostusmenetelmäksi valitaan pilaantuneiden maiden kaivu ja kuljetus käsittelylaitokseen (terminen käsittely), mikä on yleisin menettely pilaantuneiden maiden käsittelyssä. Maan kaivu on varmin tapa poistaa haitta-aineet maaperästä. Tällöin ei jää riskiä, että maaperään jääneet haitta-aineet joskus aiheuttaisivat haittaa. Lisäksi kaatopaikan tapauksessa pilaantuneiden maiden käsittely on hankalaa muilla menetelmillä, koska maa-aines sisältää erilaisia jätejakeita.

Voimakkaasti pilaantuneet maat, joita ei voida sijoittaa kaatopaikalle, tulisi viedä vastaanottavaan käsittelylaitokseen. Lähin laitos on Ekokemin teollisuusjätekeskus Porissa (Ekokorventie), jonne tulee Raumalta matkaa 80 km. Merimatka Rauman Ulko-Petäjäksestä Kuuskajaskariin on 3,2 km. Yhteensä matkaa on siis 83,2 km. Mikäli liukoisuustestien perusteella todettaisiin osan pilaantuneista maista olevan kaatopaikkakelpoisia, voisi niitä kuljettaa Raumalla sijaitsevalle Hevossuon jäteasemalle, jonne matkaa tulee yhteensä 15,4 km. Koska liukoisuustestien tuloksia ei ole käytettävissä tässä työssä, kaikki maa-ainekset kuljetetaan Poriin.

Kappaleessa 6.4.3. on laskettu taustavallien ja kaatopaikan pilaantuneiden maiden määriä. Laskelmien perusteella kivääriradan taustavallissa on pilaantunutta maata 210 m<sup>3</sup> ktr

eli 462 tn, pistooliradalla 100 m<sup>3</sup>ltr eli 220 tn ja kaatopaikalla 2950 m<sup>3</sup>ltr eli 6490 tn. Yhteensä pilaantunutta maa-ainesta on siis 3260 m<sup>3</sup>ltr eli 7172 tn.

Tässä työssä kustannusarvio on laskettu käyttäen selainpohjaista Fore-kustannuslaskentaohjelmaa. Foren rakennusosalaskentaohjelma (Rola) antaa keskimääräisiä yksikköhintoja eri rakennusosille (InfraRYL:n mukaiset rakennusosat). Laskelma on ollut käytössä Foren viimeisin hinnasto lokakuulta 2013. Rolassa rakennusosa ”Pilaantuneet maat, terminen ratkaisu, suuri” sisältää maan kaivun, kuljetuksen (< 1 km) ja vastaanottomaksun. Vastaanottomaksu vaihtelee maaperän saasteisuusasteen mukaan 10 - 200 €/t. Lisäksi laskelmaan on valittu kuljetuksen lisäkustannus (yli 50 km). Laskentaohjelmasta ei löydy merikuljetukselle hintaa, mikä saattaisi olla merkittävä lisä kustannuksiin.

Taulukko 4. Investointilaskelma (Fore) Kuuskajaskarin pilaantuneille maille.

KUSTANNUSARVIO RYHMITÄIN

FORE

Dokumentin luoja: Minna Kouva

Viimeinen muokkaaja: Minna Kouva

Aluekerroin: 0,96

Kustannusindeksi: 137,00 (2005=100)

Päivämäärä: 5.6.2014

Koko laskelma

Rakennusosat

Tunniste	Rakennusosa	Yks.	Määrä	Yks. hinta	Yhteensä
Pistooliradan valli		t	220	157,63 €	34 678 €
1212	Pilaantuneet maat, terminen ratkaisu, suuri	t	220	149,82 €	32 961 €
1212.1	+kuljetuksen lisäkustannus (yli 50 km),	t	220	7,80 €	1 717 €
Kivääriradan valli			462	157,63 €	72 824 €
1212	Pilaantuneet maat, terminen ratkaisu, suuri	t	462	149,82 €	69 219 €
1212.1	+kuljetuksen lisäkustannus (yli 50 km),	t	462	7,80 €	3 605 €
Kaatopaikka		t	6 490	157,63 €	1 023 001 €
1212	Pilaantuneet maat, terminen ratkaisu, suuri	t	6 490	149,82 €	972 356 €
1212.1	+kuljetuksen lisäkustannus (yli 50 km),	t	6 490	7,80 €	50 645 €
1000-4000	Rakennusosat yhteensä				1 130 503 €
Työmaatehtävät yhteensä					237 406 €
1000-5500	Rakennusosat ja työmaatehtävät yhteensä				1 367 909 €
Tilaaajatehtävät yhteensä					205 528 €
1000-5580	Rakennusosat, työmaatehtävät ja tilaajatehtävät yhteensä				1 573 437 €
Koko hanke yhteensä		(Alv. 0%)			1 573 400 €
Koko hanke yhteensä		(Alv. 24%)			1 951 100 €

Taulukko 4 on Rola -laskentaohjelman antama yhteenvedoraportti tehdystä laskelmasta. Laskentaohjelmaan on syötetty vain arvioidut pilaantuneet maa-ainemäärät erikseen

kullekin pilaantuneelle kohteelle kuljetuksen lisäkustannukset huomioiden. Rakennusosittain katsottaessa ohjelma antaa pistooliradalle kustannusarvioksi 34 678 €, kivääriradalle 72 824 € ja kaatopaikalle 1 023 001 €. Kaatopaikka muodostaa merkittävän osan kustannusarviosta. Rakennusosille ja työmaatehtäville ohjelma antaa kustannusarvioksi yhteensä 1 367 909 €. Kokonaisuudessaan ohjelma antaa hankkeelle kustannusarvioksi 1 573 400 € (alv 0 %).

Kuuskajaskarin tapauksessa pilaantuneet maat olisi hyvä lastata suoraan kuorma-autoihin, jotka kuljetetaan saaresta mantereelle. Näin maa-ainesta ei tarvitse purkaa ja lastata moneen kertaan.



## 7 POHDINTA

Opinnäytetyössä on käsitelty pilaantuneiden maiden kunnostusta ja tutkittu raskasmetalleilla pilaantuneille maille sopivia kunnostusmenetelmiä. Tutkimuskohteena oli Rauman edustalla sijaitseva Kuuskajaskarin linnakesaari. Saarella olevien ampuma-alueiden ja kaatopaikan maaperän pilaantuneisuutta on selvitetty kenttätutkimuksin vuonna 2001. Tässä työssä aikaisempia tutkimustuloksia verrattiin nykyisiin Pima-asetuksen mukaisiin haitta-ainepitoisuuksien ohjearvoihin. Ohjearvovertailun perusteella havaittiin, että saarella on raskasmetalleilla, erityisesti lyijyllä ja kuparilla voimakkaasti pilaantuneita maita kivääri- ja pistooliradalla, sekä kaatopaikalla. Lisäksi kaatopaikalla on sinkillä voimakkaasti pilaantunutta maata.

Kunnostusta ajatellen vuoden 2001 kenttätutkimustuloksia tulisi täydentää lisätutkimuksilla, jotta alueiden pilaantuneisuus ja pilaantuneen maan määrä saataisiin tarkemmin selville. Kaatopaikalla olisi hyvä teettää lisätutkimuksia eri puolilta kaatopaikkaa ja selvittää pilaantuneisuuden laajuutta. Lisäksi kaatopaikalta tulisi selvittää öljyhiilivetyjä. Jokaiselta tutkitulta alueelta tulisi selvittää liukoisuustestein ovatko maa-ainekset kaatopaikkakelpoisia, mikäli niitä päädyttäisiin kuljettamaan saarelta pois.

Tämän työn suurimpana haasteena oli arvioida tutkimusalueiden pilaantuneisuutta ja puhdistustarvetta, koska kohteet sijaitsevat kaavaluonnoksen mukaisesti Selkämeren kansallispuiston suojelualueella. Se, että maaperässä todetaan kenttätutkimuksien perusteella olevan haitta-aineita, jopa huomattavia määriä, ei välttämättä tarkoita, että alue on pilaantunut. Lainsäädännössä tai ohjeissa ei ole määritelty haitta-aineiden pitoisuuksille selkeitä raja-arvoja, kun kyseessä on suojelualueilla olevien pilaantuneiden maiden kunnostus. Laki ja ohjeistukset eivät vaadi haitta-ainepitoisuuksien osalta, esimerkiksi ohje- tai kynnysarvon alittumista. Näiden pitoisuusrajojen perusteella ”pilaantuneeksi” arvioituja maita voidaan jättää alueelle, mikäli ne eivät aiheuta haittaa tai merkittävää riskiä alueen jatkokäytölle. Lainsäädännön näkökulmasta maaperän pilaantuneisuus määräytyy aina haittojen tai riskien perustella ja jokainen pilaantuneeksi epäilty kohde on arvioitava tapauskohtaisesti.

Edellä todetun perusteella Kuuskajaskarin pilaantuneet maat voidaan jättää kunnostamatta, mikäli ne eivät aiheuta haittaa tai merkittävää riskiä alueen jatkokäytölle, luon-

non monimuotoisuudelle tai maisemalle. Tämä tulee todentaa teettämällä tarkennettu riskinarvio.

Toinen vaihtoehto on kunnostaa pilaantuneet maat. Pilaantuneiden maiden kunnostustavoitteena tulisi tällöin olla haitta-aineiden poistaminen maaperästä niin, että haitta-aineiden jäännöspitoisuudet ovat hyväksyttävällä tasolla. Kunnostuksen ja haitta-aineiden poistumisen myötä myös suojelualueen imago säilyisi ”puhtaana”.

Työssä pohdittiin kunnostusmenetelmään vaikuttavia tekijöitä. Tutkimuskohteen erityispiirre on, että pilaantuneet maat sijaitsevat saarella, mikä tuo oman haasteensa kunnostuksen suunnitteluun ja toteutukseen. Lisäksi kohteessa on suojeltu kivääriradan puolustusrakenteet. Tämä vaikeuttaa kunnostusmenetelmän valintaa, koska samaan aikaan pitäisi sekä kunnostaa että pyrkiä säilyttämään esimerkiksi taustavallit.

Kunnostusvaihtoehtoksi valikoitui pilaantuneiden maiden kaivu ja kuljetus käsittelylaitokseen. Maan kaivu soveltuu metalleilla pilaantuneille maille ja on varmin tapa poistaa haitta-aineet maaperästä. Tällöin ei jää riskiä, että maaperään jääneet haitta-aineet joskus aiheuttaisivat haittaa. Lisäksi kaatopaikan tapauksessa pilaantuneiden maiden käsittely on hankalaa muilla menetelmillä, koska maa-aines sisältää erilaisia jätelajeita.

Työn lopussa on arvioitu kohteen kunnostuksen kustannuksia. Kustannusarvioksi saatiin ampumaradoille yhteensä 107 502 € ja kaatopaikalle 1 023 001 €, kun kunnostusvaihtoehtona oli pilaantuneiden maiden kaivu ja kuljetus. Kaatopaikka näyttäisi muodostavan merkittävän osan kustannuksista. Kokonaisuudessaan hankkeen kustannusarvio oli 1 573 400 € (alv 0 %).

Pilaantuneisiin maihin liittyen lainsäädännössä ja ohjeistuksissa on tapahtunut muutoksia. Vuonna 2011 tuli voimaan uudistettu jätelaki ja ympäristönsuojelulakia uudistetaan parhaillaan. Ympäristöhallinnon Pima-asetuksen mukaista arviointimenettelyä käsittelevää ohjetta ollaan myös uusimassa ja uuden oppaan, jonka nimeksi on tulossa ”Pilaantuneen alueen riskinarviointi ja -hallinta”, on arvioitu valmistuvan vuonna 2014.

## LÄHTEET

Ahlman konsultointi ja suunnittelu. 2011. Rauman Kuuskajaskarin luontoselvitys 2011.

Ampumarata-alueiden pilaantunut maaperä - Tutkimukset ja riskienhallinta. 2002. Pohjois-Karjalan ympäristökeskus. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Doranova Oy. On site märkäerottelu. Viitattu 2.6.2014.

<http://www.doranova.fi/index.php/fi/tuotteet-ja-palvelut/pilaantuneet-maa-alueet/maaperan-kunnostus/on-site>

Haapa saastuneen maan puhdistajana. Maanpuhdistus Luumäen Somerharjun alueella. Metla. Luettu 27.4.2013. <http://www.metla.fi/metinfo/fytores/somerharju.htm>

Hannula, H. & Kaituri, A. 2011. Kuuskajaskarin linnakesaaren maisemaselvitys. WSP Finland Oy.

Hietalahti, J. & Hovi, M. 2002. Pilaantuneen maaperän kartoitus, analysointi ja kunnostus. Prosessitekniikan koulutusohjelma. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Opinnäyte-työ.

Hintikka, V. 2010. GTK, mineraalitekniikka Outokumpu. Pilaantuneiden maiden puhdistus. Ampumaratojen tulevaisuus-seminaari. Helsingin messukeskus. Luettu 1.4.2013. <http://ampumaurheiluliitto-fi.bin.directo.fi/@Bin/d7f253d26f78389dfc630572b74779c6/1364839630/application/pdf/3541611/V%C3%A4in%C3%B6%20Hintikka%20Ampumaratojan%20puhdistus.pdf>

Hybridihaapa puhdistaa saastunutta maa-aluetta Luumäellä. Metlan tiedote 4.12.2012. Luettu 27.4.2013. <http://www.metla.fi/tiedotteet/2012/2012-12-04-hybridihaapa.htm>

Jätelaki 17.6.2011/646

Lapin elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, 2013. Reväsvaaran ampumarata-alueen kunnostaminen. Päätös LAPELY/466/07.00/2010 07.00.32.04 ilmoituksen johdosta:

Lemminkäinen Infra Oy. Ekostab-esite. Menetelmä pilaantuneen maan käsittelyyn. Viitattu 3.6.2014 [www.lemminkaineninfra.fi/Link.aspx?id=10003959](http://www.lemminkaineninfra.fi/Link.aspx?id=10003959)

Lindberg E. 2010. Orgaanisten yhdisteiden elektrokineettinen hapetus. EKO teknologia - Lupaavia käyttökokeuksia Suomessa ja Ruotsissa. Mutku-päivät, Hämeenlinna. <http://www.mutku.fi/files/Mutkupaivat2010/Lindberg.pdf>

Manninen-Egilmez, P., Mäkelä P., Hartikainen, H., Santanen, A., Seppänen, M., Stoddard, F., Yli-Halla, M. 2010. Kasvien fytoimediaatiopotentiaali CCA:lla saastuneen maan puhdistuksessa. <http://www.smts.fi/jul2010/poste2010/162.pdf> Viitattu 29.4.2013.

Mroueh, U-M., Vahanne, P., Eskola, P., Pasanen, A., Wahlström, M., Mäkelä, E. ja Laaksonen, R. 2004. Pilaantuneiden maiden kunnostushankkeiden hallinta. VTT tiedotteita 2245. Luettu 23.5.2013. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2004/T2245.pdf>

Mäenanttila, V. 2012. Akun kenno voi jatkossa syntyä luotipenkan lyijystä. Ekoasiaa 3/2012, 8-9.

Penttinen, R. 2001. Maaperän ja pohjaveden kunnostus - yleisimpien menetelmien esittely. Suomen ympäristökeskus. Helsinki: Oy Edita Ab.

Pyy, O. 2013. MATTI-tietojärjestelmä ja PIMA-kunnostukset tilastokatsaus. Suomen ympäristökeskus. <http://www.mutku.fi/files/Mutku2013/Pyy.pdf> Viitattu 3.5.2013.

Reinikainen, J. tutkimusinsinööri. 2014. Pilaantuneet maat suojelualueella. Sähköposti-viesti. [jussi.reinikainen@ymparisto.fi](mailto:jussi.reinikainen@ymparisto.fi). Luettu 3.6.2014.

Suomen ympäristö 23/2012. Ampumaratojen ympäristölupa. 2012. Opas toiminnanharjoittajille, sekä lupa- ja valvontaviranomaisille. AMPY-työryhmä. Ympäristöministeriö. Helsinki: Edita Prima Oy.

Suomen ympäristökeskus. Luettu 5.5.2013  
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=28779&lan=fi>

Suomen ympäristökeskus. Maaperän pilaantumisen syyt ja esiintyminen Suomessa. Luettu 3.5.2013. <http://archive.today/E3d3>

Suomen ympäristökeskus. 2010. Pilaantuneen maa-alueen kunnostuksen yleissuunnitelma. Helsinki: Edita Prima Oy. Luettu 4.5.2013.  
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=125562&lan=fi>

Ympäristöministeriö. 2007. Ympäristöhallinnon ohje 2. Maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointi. Helsinki: Edita Prima Oy.

Ympäristöministeriö. 2012. Maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arviointi - jäteosioita koskeva päivitysluonnos. Päivitetty 11.5.2012. Luettu 23.4.2014.  
[http://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Pilaantuneet\\_alueet](http://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Pilaantuneet_alueet)

Ympäristönsuojelulaki 4.2.2000/86

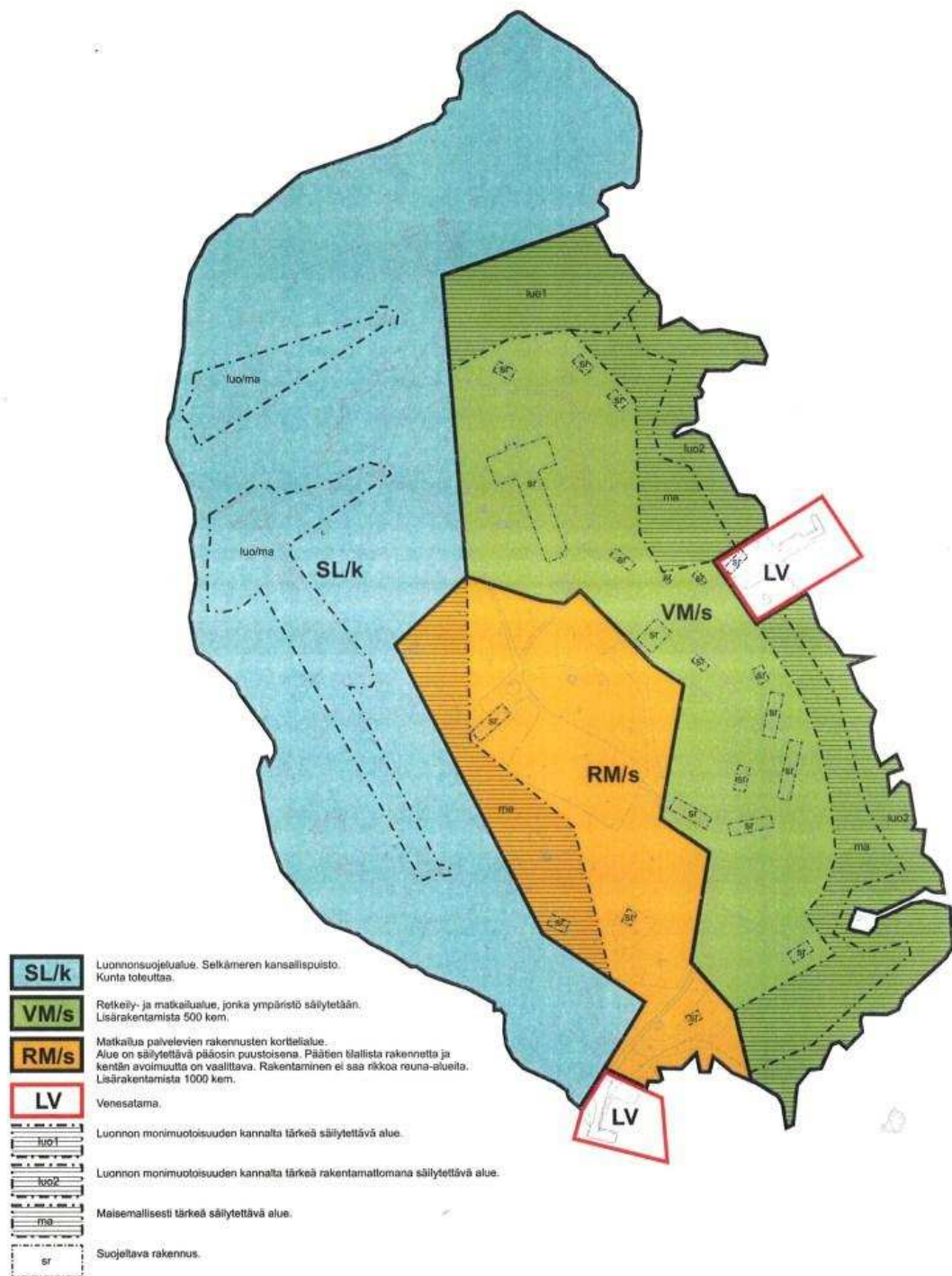
Ympäristönsuojelulaki 29.5.2009/385

Vallinkoski, V-M., Hassinen, V. ja Servomaa, K. 2007. Hybridihaapa metalleilla pilaantuneen alueen kasvikkunnostuksessa. Pohjois-Savon ympäristökeskuksen raportteja 2:2007. Luettu 3.6.2014.  
[https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/45043/PSAra2\\_2007.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/45043/PSAra2_2007.pdf?sequence=1)

Valtioneuvoston asetus 1.3.2007/214 maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista.

**LIIITEET**

Liite 1. Kuuskajaskarin kaavaluonnos 20.11.2012 (Rauman kaupungin kaavoitus)





Liite 2. Valokuvia kivääriradalta.







Liite 4. Valokuvia pistooliradasta ja jätteenpolttolaitoksesta.





Liite 5. Valokuvia kaatopaikalta.



## Liite 6. Maanäytteiden analyysitulokset

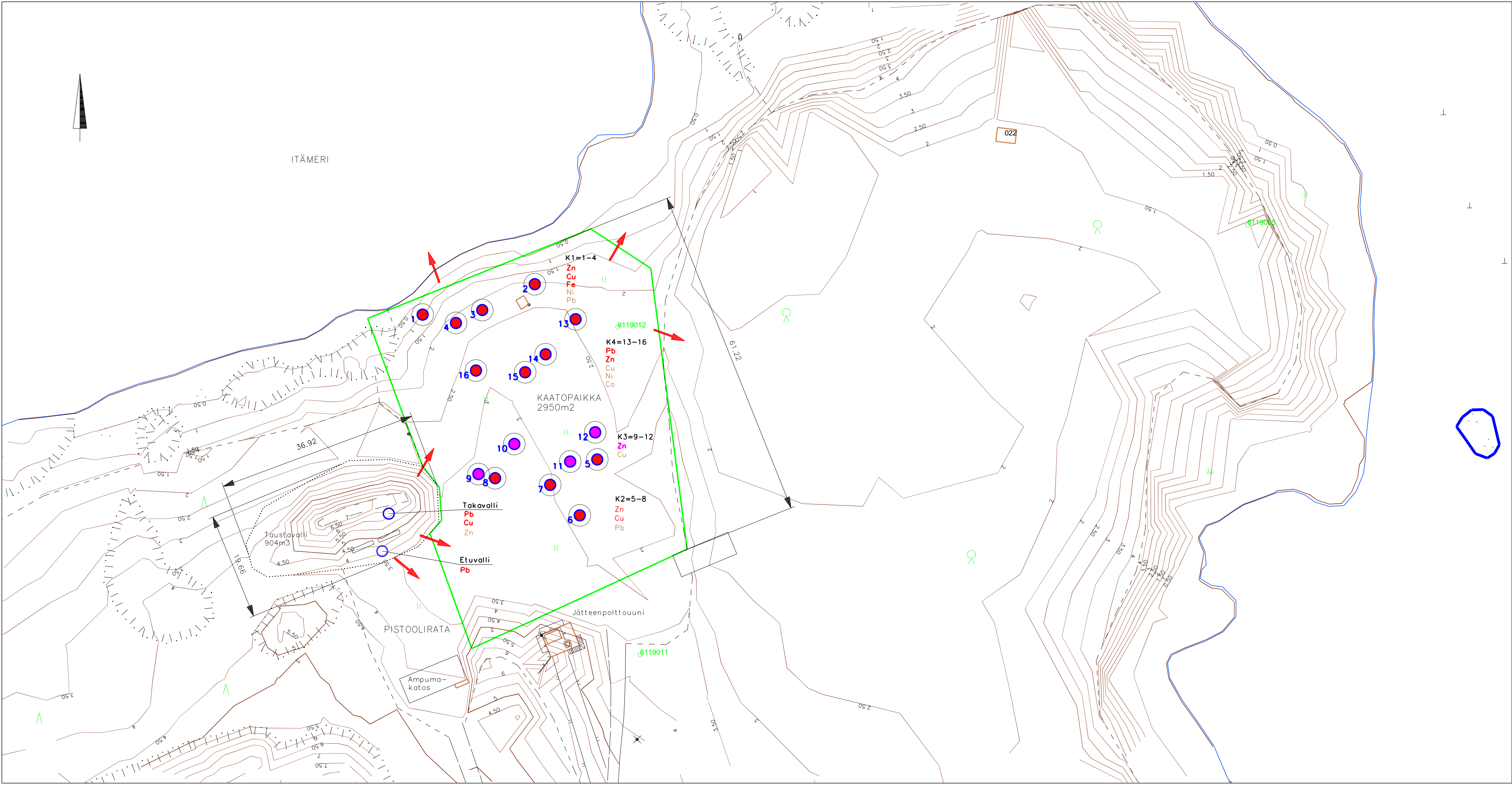
Ohjearvot on määritelty ekologisten riskien (e) tai terveysriskien (t) perusteella

Kokooma- näyte	Näytteenottopaikka ja kokoo- manäytteen sisältämät näytteenottopisteet	Lyijy (Pb)	Sinkki (Zn)	Kupari (Cu)	Rauta (Fe)	Nikkeli (Ni)	Koboltti (Co)	Kadmium (Ca)
		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
<b>K1</b>	Kaatopaikka, koekuopat 1-4	70	760	232	4153	56	4	0
<b>K2</b>	Kaatopaikka, koekuopat 5-8	151	1303	315	3639	24	4	0
<b>K3</b>	Kaatopaikka, koekuopat 9-12	0	293	118	3042	23	16	0
<b>K4</b>	Kaatopaikka, koekuopat 13-16	1883	538	141	3651	51	26	0
<b>P1</b>	Pistoolirata etuvalli, tp 1-6	1557	51	40	3251	23	1	0
<b>P2</b>	Pistoolirata takavalli, tp 7-10	1307	118	283	3120	47	1	0
<b>P3</b>	Pistoolirata takavalli, tp 11-13	3043	237	372	3212	23	16	0
<b>A1</b>	Kiväärirata etuvalli, tp 1-6	585	47	74	3003	42	18	0
<b>A2</b>	Kiväärirata takavallin alaosa, tp 7-10	9998	133	673	3151	49	24	0
<b>A3</b>	Kiväärirata takavallin yläosa tp11-13	767	57	141	2955	45	23	0
<b>V</b>	vertailunäyte, "puhdas maa"	0	39	28	2903	22	8	0
	Luontainen pitois. mg/kg	5	31	22		17	8	0,03
	Kynnysarvo mg/kg	60	200	100		50	20	1
	Alempi ohjearvo mg/kg	200(t)	250(e)	150(e)		100(e)	100 (e)	10 (e)
	Ylempi ohjearvo mg/kg	750(e)	400(e)	200(e)		150(e)	250 (e)	20 (e)

## Liite 7. Kaatopaikan koekuoppahavainnot

Näyte nro	Koordinaatit		Näyt- teenotto- syvyys cm	Näytteenottokuoppa havainnot
	x	y		
1	6781269.445	22465736.340	30	aivan pinnassa yhdyskuntajätettä, kovaa savea, hiiltä, tiiltä
2	6781275.032	22465756.950	30	multamaata, kaapelia, tiiltä, muovia
3	6781270.285	22465747.295	50	voimakas liuotinkemikaalin haju, multaa, tuhkaa, rautanauvoja, kaapelia
4	6781267.911	22465742.468	25	voimakas hiilen haju, rakennusjätettä, keramiikkaa, multa
5	6781242.852	22465768.433	35	hiilen haju, betonia, lasia, pariston jäänteitä, styroksia
6	6781232.587	22465765.212	30-50	savi- ja multamaata, lasia, rakennusjätettä
7	6781238.181	22465759.774	30	savimaata, muovia, lasia, kaapelia
8	6781239.410	22465749.662	23	multamaata, hiiltä, keramiikkaa, lasia
9	6781240.177	22465746.598	35	multamaata, maatumatonta yhdyskuntajätettä, metallia
10	6781245.691	22465753.188	30	punaista hiekkamaata, jätettä ei näkyvissä, hajuton
11	6781242.470	22465763.453	40	multamaata ja osittain punertavaa hiekkaa, hiiltä
12	6781247.832	22465768.051	35	multamaata, pistävä haju, talousjätettä, muovia, lasia
13	6781268.594	22465764.456	35	multamaata, hiiltä, tiiltä, harjaterästä
14	6781262.161	22465758.938	35	multamaata, hiiltä, rakennusjätettä
15	6781258.867	22465755.183	25	kovaa savimaata, hiiltä
16	6781259.176	22465746.143	40	multamaata, urean haju, tiiltä, muovia, kuparilanka





- MERKKIEN SELITYKSET
- Näytteenottopiste
  - Kokoomanäyte ylittää alemman ohjearvon Vna215/2007
  - Kokoomanäyte ylittää ylemmän ohjearvon Vna215/2007
  - Vaikutusalue 1 metrin säteellä näytteenottopisteestä
  - K1 Kokoomanäyte sisältää 4 tutkimuspistettä
  - Pb Alkuaine, jonka pitoisuus ylittää kynnysarvon Vna215/2007
  - Pb Alkuaine, jonka pitoisuus ylittää alemman ohjearvon Vna215/2007
  - Pb Alkuaine, jonka pitoisuus ylittää ylemmän ohjearvon Vna215/2007
  - Haitta-aineiden mahdollinen leviämisuunta
  - Kaatopaikan raja

Näytteenotot suorittaneet ja analysoineet Jaana Hietalahti ja Minna Hovi vuonna 2001.

ETRS-GK22/N2000

RAUMAN KAUPUNGIN TEKNINEN VIRASTO  
KUNNALLISTEKNIIKAN SUUNNITTELU

KUUSKAJASKARI PIMA-TUTKIMUSPISTEET  
pistoolirata ja kaatopaikka  
Liite 8

PIIRUSTUS NO			MITTAKAAVA				1:500
SUUNN.	23.3.2014	M.KOUVA					
PIIR.							
HYV.							